

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ELITON SMITH DOS SANTOS**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NOS  
PROCESSOS INDUSTRIAIS: UTILIZANDO A FERRAMENTA TECNOMATIX PLANT  
SIMULATION 9.0**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**BELÉM-PA  
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO AUXÍLIO À TOMADA DE  
DECISÃO NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO A  
FERRAMENTA TECNOMATIX PLANT SIMULATION 9.0**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em Processos Industriais.

**Eliton Smith dos Santos**

**ORIENTADOR: Prof. Dr João Nazareno Nonato Quaresma**

**BELÉM-PA  
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ELITON SMITH DOS SANTOS**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO NOS  
PROCESSOS INDUSTRIAIS UTILIZANDO A FERRAMENTA TECNOMATIX  
PLANT SIMULATION 9.0**

**DEFESA DO MESTRADO**

Essa dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Processos Industriais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Pará - UFPA.**

Belém-PA, .... de ..... de 2011.

---

Prof. José Antonio da Silva Souza, Dr.  
Coordenador do CMPPI

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. João Nazareno N. Quaresma  
Orientador

---

Prof. Drd Jandecy Cabral Leite  
Co-Orientador

---

Prof. Dr José Antonio da Silva Souza

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, que me deu graça e conhecimento para continuar esta jornada de minha vida.

Aos meus pais, que sempre foram os mais interessados em minhas realizações, dando força, incentivo e não mediam esforços para me ajudar nessa etapa de minha vida.

A minha esposa e filhos, com amor admiração e gratidão por sua compreensão e apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me permitir a conclusão deste curso.

Universidade Federal do Pará – UFPA

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM, que graças à firmação de parceria através de um convenio com a Universidade nos proporcionou este sonho.

Aos Professores: Dr. João Nazareno Nonato Quaresma e Drd. Jandecy Cabral Leite pela excelente condução e orientação deste Trabalho.

Aos professores e colegas do curso que me proporcionaram novos conhecimentos.

E a todos os colaboradores do Instituto (ITEGAM) que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1. Introdução .....	13
1.1 Justificativa .....	14
1.2 Objetivos .....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivo Específicos .....	16
1.3 Delimitação da Pesquisa.....	16
1.4 Metodologia da Pesquisa .....	16
1.4.1 Propósito da Pesquisa .....	16
1.4.2 O Processo de Pesquisa .....	17
1.4.3 Descrição Detalhada dos Passos da Pesquisa .....	18
1.5 Estrutura do Trabalho Proposto .....	19

### CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações Iniciais .....	20
2.2 Administração da Produção .....	20
2.3 Sistema de Fluxo de Materiais .....	23
2.4 Sistemas de Produção .....	24
2.5 Sistema de Manufatura .....	27
2.6 Racionalização Industrial .....	29
2.7 Processos .....	30
2.8 Tempos e Métodos .....	31
2.9 Capacidade Produtiva em Unidade de Redes .....	33
2.10 Arranjo Físico .....	34
2.11 Balanceamento de Linha .....	37
2.12 Técnicas de Mapeamento do Processo .....	40

## **CAPÍTULO 3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO**

3.1 Modelagem e Simulação .....	42
3.2 Modelagem e Tomada de Decisão.....	46
3.3 Construção de Modelos .....	48

## **CAPÍTULO 4 TECMOMATIX PLANT SIMULATION 9.0**

4.1 Considerações Iniciais .....	52
4.2 Siemens Brasil .....	52
4.3 Siemens Plm Software .....	52
4.4 Tecnomatix Plant Simulation 9.0® .....	53
4.4.1 Características Especiais .....	54
4.5 Plant Simulation é Utilizado na Maioria das Indústrias.....	56
4.6 Planejamento e Produtividade .....	57
4.7 Produtividade de Fabricação .....	58

## **CAPÍTULO 5 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL**

5.1 Considerações Iniciais .....	60
5.2 Definição de Problemas e Estabelecimento de Objetivos .....	60
5.3 Coleta de Dados .....	61
5.4 Principais Ferramentas do Plant Simulation 9.0 .....	63
5.5 Simulação da Linha de Produção com Plant Simulation 9.0 .....	64
5.6 Resultados da Simulação .....	68
5.7 Soluções Aplicadas .....	69
5.8 Resultado das Melhorias Aplicadas .....	75

## **CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

6.1 Considerações Iniciais .....	76
6.2 Contribuição do Trabalho .....	76
6.3 Considerações Finais.....	77
6.4 Sugestões para trabalhos futuros.....	78

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	79
--------------------------	----

<b>ANEXOS</b> .....	84
---------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – O papel da AP dentro da Organização.....	21
<b>Figura 2.2</b> – Hierarquia do Planejamento da Produção.....	23
<b>Figura 2.3</b> – Sistema: Empresarial Industrial.....	26
<b>Figura 2.4</b> – Tipos de Processos em Operações de Manufatura.....	28
<b>Figura 2.5</b> – Processos em Organizações Industriais .....	28
<b>Figura 2.6</b> – Atividade de Produção – Fabricante de Comida Congelada .....	31
<b>Figura 2.7</b> – Estudo do Trabalho compreende Estudo do Método do Trabalho... .	31
<b>Figura 2.8</b> – Modelo de <i>Layout</i> em Linha .....	37
<b>Figura 3.1</b> – Abordagem Gerencial para tomada de decisão.....	47
<b>Figura 3.2</b> – Ciclo para Criação de Modelos.....	49
<b>Figura 3.3</b> – A visão “Caixa preta” de um modelo.....	51
<b>Figura 5.1</b> – <i>Layout</i> da Linha de Produção dos Aparelhos de TV 21” .....	64
<b>Figura 5.2</b> – Simulação da Linha de Produção dos Aparelhos de TV 21” .....	65
<b>Figura 5.3</b> – <i>Layout</i> proposto para nova simulação da linha de produção.....	70
<b>Figura 5.4</b> – Fixação de Alto-Falantes no Gabinete Frontal da TV .....	70
<b>Figura 5.5</b> – Prender o Cabo DY e fixação do cabo de força no gabinete.....	71
<b>Figura 5.6</b> – Montar protetor de pé no aparelho, arrumar o saco de polietileno ....	72
<b>Figura 5.7</b> – Aparelho de TV 21” .....	73
<b>Figura 5.8</b> – Simulação do Novo Balanceamento da Linha .....	74

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – Processos de Diferentes Características .....	30
<b>Quadro 5.1</b> – Lista das Ferramentas usadas na Simulação .....	63
<b>Quadro 5.2</b> – Postos de Trabalho com máximo desempenho .....	66
<b>Quadro 5.3</b> – Postos de Trabalho Desbalanceados .....	67
<b>Quadro 5.4</b> – Resultado da Simulação dos Aparelhos de TV 21” .....	68
<b>Quadro 5.5</b> – Resultados Obtidos da Nova Simulação da Linha de TV 21” .....	75

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**AP** – Administração da Produção

**APO** – Administração da Produção de uma Organização

**PT** – Postos de Trabalho

**T9** – Tecnomatix Plant Simulation 9.0

**TI** – Solutions and Services

**Siemens PLM** – Unidade de Negócios de Automação Industrial

**Siemens** – Industry Automation Division

**DPV** – Dimensão Planejamento e Validação

**PLC** – Programa de Tratamento a Linha de Produção Virtual Real

**PIM** – Pólo Industrial de Manaus

**SFP** – Solicitação de Formação de Preço

**CP** – Capacidade Produtiva

**RF** – Razão de Falhas

## RESUMO

Santos, E. S **Simulação Computacional no Auxílio à Tomada de Decisão nos Processos Industriais: Utilizando a Ferramenta Tecnomatix Plant Simulation.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011. 91 páginas.

Atualmente existem inúmeros processos produtivos automatizados, os quais vêm se tornando cada vez mais complexos em função das necessidades do mundo moderno e, portanto, demandam nas fases de projetos e de implementação ferramentas de engenharia cada vez mais poderosas para modelá-los e analisá-los da maneira mais eficiente possível. Nesse ambiente de crescente pressão por resultados positivos, racionalização e aprimoramento de recursos internos, que a ferramenta computacional Tecnomatix Plant Simulation 9.0, surge como um caminho para a obtenção de competitividade produtiva. Ressaltando ainda que, o estudo proposto é de grande relevância para os profissionais da gestão produtiva, os quais almejam resultados que minimizem custos e maximizem lucros.

**Palavras-Chaves:** Produtividade; Modelagem; Simulação Computacional.

## **ABSTRACT**

Santos, E. S Computer Simulation in Aid to Decision Making in Industrial Processes: Using the Tecnomatix Plant Simulation Tool. Dissertation. Institute of Technology - Federal University of Pará, Belém, 2011. 91 páginas.

Currently there are many automated production processes, which are becoming increasingly complex according to the needs of the modern world and therefore demand phases of projects and implementation of engineering tools even more powerful to model them and analyze them the most efficient manner possible. In this environment of increasing pressure for positive results, rationalization and improvement of domestic remedies, the computational tool Tecnomatix Plant Simulation 9.0, emerges as a way to achieve competitiveness in production. Underscoring that, the proposed study is of great relevance for professionals in the production management, which aim to minimize costs and outcomes to maximize profits.

**Key Words:** Productivity, Modeling, Computer Simulation.

## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como objetivo apresentar uma proposta de ferramentas computacionais para tomada de decisão nos processos industriais nas indústrias de Eletro-Eletrônico.

Empresas de manufatura no mundo inteiro estão passando por momentos de intensa competição causados pela abertura de mercado e o rápido desenvolvimento tecnológico, que conseqüentemente afetou o ciclo de vida dos produtos tornando-os cada vez menor, assim como o lucro por produto vendido (DAVIES *et al.*, 2006).

Nesse cenário as indústrias tradicionais estão sendo forçadas a buscar alternativas para diminuir a perda de mercado e a conseqüente perda de receita e lucros, garantindo assim a longevidade da empresa. Uma das formas de se obter vantagem competitiva seria através da diferenciação dos produtos e da ampliação de suas ofertas (KALLENBERG, 2003).

Paralelo a isso, as estratégias de manufatura foram adquirindo competência iniciada com um foco excessivo sobre os custos de produção, passando para um segundo estágio com preocupação sobre qualidade, o terceiro estágio enfatiza a competição baseada no tempo e na flexibilidade e à quarta fase, que prioriza a inovação como diferencial competitivo.

O processo de industrialização, nestes últimos séculos, proporcionou desenvolvimento extraordinário de novas tecnologias principalmente na área produtiva; pode-se constatar o desenvolvimento crescente de maquinários automáticos, com aplicação mais frequente da robótica. Ressaltando ainda a utilização de novas maneiras e metodologias na gestão produtiva, como os sistemas de *Just-in-Time*<sup>1</sup>, MRP I<sup>2</sup>, MRP II<sup>3</sup>, *Kaizen*<sup>4</sup>, FMEA<sup>5</sup>, entre outros.

---

<sup>1</sup> É um sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata.

<sup>2</sup> Planejamento de necessidades de materiais é um sistema lógico de calculo que converte a previsão de demanda em programação da necessidade de seus componentes.

<sup>3</sup> (Manufacturing Resources Planning)

<sup>4</sup> (Mudança para melhor) é uma palavra de origem japonesa com o significado de melhoria contínua.

<sup>5</sup> (*Failure Mode and Effect Analysis*) A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha.

Em consonância com este novo ambiente globalizado, as indústrias estão buscando maiores e melhores níveis de excelência, pois a sobrevivência da organização dependerá da forma de como está projetando sua estratégia concernente ao modo de interpretar o mercado em meio às mudanças rápidas impostas no dia-a-dia empresarial.

Atualmente existem inúmeros processos automatizados. Tais processos vêm se tornando cada vez mais complexos em função das necessidades do mundo moderno e demandam nas fases de projetos e de implementação ferramentas de engenharia cada vez mais poderosas para modelá-los e analisá-los da maneira mais eficiente possível.

O desenvolvimento de novos sistemas produtivos ou a melhoria de um já existente passa frequentemente por tomadas de decisões em diversos níveis da organização e na maioria dos casos geralmente são afetadas, conforme apresentado por LACHTERMACHER (2002), pelo tempo disponível para a tomada de decisão, a importância da decisão, o ambiente, os riscos, certezas e incertezas, os agentes decisórios e os conflitos de interesses.

Quase sempre as decisões sobre as tarefas e utilização de recursos são tomadas por supervisores, líderes, coordenadores de produção ou pela engenharia de manufatura, com base apenas em suas experiências. Deve-se levar em conta que nestas condições a decisão tomada não é garantia de melhor resultado na alocação dos recursos, sendo então necessário utilizar outra opção em conjunto com a primeira, baseada em fatos, dados e informações.

E nesse ambiente de crescente pressão por resultados positivos, racionalização e aprimoramento de recursos internos, que a ferramenta computacional *Tecnomatix Plant Simulation* surge como um caminho para a obtenção de competitividade. A indústria está objetivando, cada vez mais, projeções ascendentes; com níveis de qualidade e produtividade máxima- expectativa e exigência do mercado, sociedade e investidores.

## **1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA**

A simulação é uma poderosa ferramenta para a tomada de decisões no desenvolvimento de processos mais eficientes. Um grande benefício da utilização da

simulação em ambientes manufatureiros é a possibilidade de obter uma visão geral (macro) do efeito de uma pequena mudança (micro) no processo.

Neste contexto, a simulação computacional dos processos e a medição eficiente de desempenho do nível de produtividade são de grande relevância e indispensáveis nos processos produtivos das indústrias.

Com o *Tecnomatix Plant Simulation 9.0*<sup>6</sup> é possível executar experiências e cenários hipotéticos sem afetar os sistemas de produção existentes ou, quando usados no processo de planejamento, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados.

Possui ferramentas de análise abrangente, como análise de dificuldades estatísticas e gráficas permite que se avaliem diferentes cenários de fabricação.

Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção, permite que os engenheiros façam diversas simulações sem sair de sua sala. Pelo processo tradicional, os engenheiros teriam de parar a produção, fazer alterações e experimentar na prática se a alteração daria resultado. Uma das grandes vantagens do software é permitir que isso seja feito sem gasto com horas de máquina parada ou possíveis danificações nos equipamentos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de simulação para avaliar o desempenho de uma linha de produção de aparelhos TV 21” em funcionamento.

Pretende-se, neste estudo, obter uma análise preventiva e preditiva do desempenho que o sistema apresentará depois de simulado, gerando informações para tomada de decisões quanto à distribuição e utilização de recursos.

---

<sup>6</sup> É uma ferramenta de Simulação de eventos separados que ajuda a criar modelos digitais de sistemas logísticos (exemplo: Produção).

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Conhecer a capacidade produtiva;
- Balanceamento da linha de montagem;
- Distribuição de mão-de-obra;
- Propor melhorias no processo através de ganho de produção após análises da ferramenta computacional Plant Simulation 9.0.

### **1.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA**

No planejamento de uma linha de produção, são tomadas as mais importantes decisões que afetam o desempenho e a performance do processo produtivo, sendo comum que após sua implantação apareçam problemas que poderiam ser evitados caso fossem previamente identificados.

Esta pesquisa utiliza a simulação como ferramenta de análise preventiva no planejamento de uma linha de produção, aproveitando das vantagens desta técnica para diagnosticar possíveis problemas; estimar desempenho; visualizar através da animação e proporcionar uma melhor percepção de como o processo produtivo funcionaria na realidade.

### **1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **1.4.1 Propósito da Pesquisa**

O objetivo principal deste trabalho é investigar a relação entre estrutura e desempenho sistêmicos, observada em quatro processos chaves:

- Levantar as principais ações do sistema industrial e seus possíveis pontos de conflito;
- Com base em um sistema real de referência, levantar amostras de comportamento sistêmico, formalizar um referencial problemático e elaborar uma hipótese dinâmica acerca da relação causal entre as principais variáveis envolvidas no processo industrial;
- Testar a hipótese criada através da elaboração e execução de um modelo de simulação;

- Com base no modelo desenvolvido, avaliar sua generabilidade e explorar possíveis alterações no sistema industrial.

#### 1.4.2 O Processo de Pesquisa

Dentre as várias abordagens possíveis, a metodologia de modelagem fundamentada em Dinâmica de Sistemas descrita por Sterman (2000), será adotada como guia para o desenvolvimento desta pesquisa.

A abordagem de Dinâmica de Sistemas, envolve a documentação, formalização e teste de uma hipótese utilizando-se métodos de modelagem formais. A metodologia de modelagem em Dinâmica de Sistemas é constituída pelos seguintes passos:

- Articulação do Problema;
- Definição de uma Hipótese no sistema;
- Formulação do Modelo de Simulação;
- Testes do Modelo; e
- Formulação, Avaliação e Automação das Estruturas na Produção.

Complementarmente, cabe destacar que o estudo de caso é uma das muitas maneiras de se fazer pesquisa. Em geral, os estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real (YIN, 2001).

Scholz (2002) destaca que a metodologia da Dinâmica de Sistemas para estudo de caso é adequada quando uma resposta afirmativa for encontrada para três questões básicas:

- 1) O sistema tem variáveis quantitativas que variam o tempo todo?
- 2) A mudança em uma ou mais variáveis impacta de algum modo outras variáveis do sistema, caracterizando uma relação de causa-efeito?
- 3) O sistema pode ser representado fechado com *loops* de *feedback*?

Dessa forma, a partir desses fundamentos, o processo de pesquisa específico para esse estudo foi definido.

A finalidade da pesquisa é descobrir respostas para questões, mediante a aplicação de métodos científicos (YIN, 2000). A abordagem central adotada para responder à pergunta central de pesquisa e atender aos objetivos específicos é a experimentação indireta através de métodos formais de modelagem e simulação próprios da Dinâmica de Sistemas. A experimentação indireta consiste em uma abordagem quantitativa voltada a realizar experimentos com um modelo da realidade e não diretamente com a realidade de interesse – uma estratégia interessante quando experimentar com o real não é viável ou desejável, (MARKONI & LAKATOS, 2009).

Neste trabalho, a estratégia adotada é complementar a esta abordagem com conceitos próprios do estudo de caso, a fim de formalizar um modelo de simulação representativo de um cenário real específico a ser adotado como ilustração.

#### **1.4.3 Descrição Detalhada dos Passos da Pesquisa**

De acordo com Sterman (2000), um modelo de sucesso deve seguir um processo disciplinado envolvendo as seguintes atividades:

Articulação do problema. Definição clara de qual é o problema e por que é um problema. Quais as variáveis e horizonte de tempo? Qual é o comportamento histórico, qual deverá ser o comportamento no futuro?

Formulação da hipótese dinâmica. a) Geração da hipótese inicial – qual é o comportamento do problema no sistema. b) Foco endógeno - formulação da hipótese dinâmica que explica a dinâmica interna de comportamento da estrutura. c) Mapeamento - desenvolvimento de mapas baseados na hipótese inicial, variáveis chaves, e modos de referência e algum outro dado disponível usando ferramenta adequada.

Formulação do modelo de simulação: a) especificação da estrutura e regras de decisão. b) estimar os parâmetros, relacionamentos e condições iniciais. c) testar a consistência com o propósito e abrangência.

Teste do modelo: a) comparação com modelos de referência, b) testar a robustez sob condições extremas.

Formulação e avaliação de políticas e estruturas alternativas: a) especificar os cenários, b) projetos das novas regras de decisão, estratégias e estruturas, c) análise dos efeitos das políticas, d) análise da sensibilidade em cenários diferentes, e) interação das regras propostas no sistema.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO PROPOSTO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos:

- ✓ **Capítulo 1** foi destinado à introdução, fornecendo as primeiras impressões do trabalho, a justificativa e o objetivo da dissertação;
- ✓ **Capítulo 2** foi feita uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de sistemas de produção considerados necessários para o desenvolvimento do trabalho;
- ✓ **Capítulo 3** foi feita uma revisão bibliográfica direcionada para os conceitos gerais de modelagem e simulação aplicadas na tomada de decisão e solução de problemas, procurando forma base para o quinto capítulo;
- ✓ **Capítulo 4** neste capítulo foi feita uma explanação sobre a ferramenta utilizada para o desenvolvimento deste trabalho;
- ✓ **Capítulo 5** foi realizada uma aplicação da simulação computacional em um sistema de produção de aparelhos de TV 21"; e
- ✓ **Capítulo 6** este capítulo é destinado a conclusão e as recomendações para futuras pesquisas.

## **CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Com a crescente exigência por parte do mercado consumidor, pela qualidade e variedade de produtos com baixos custos, a competitividade na área da indústria é geral. Os países industrializados realizam mudanças significativas na área de manufatura, sendo possível produzir produtos de alta qualidade com baixo custo e em lotes menores.

Este capítulo discute os sistemas de produção e fluxo de matérias dentro de uma indústria, buscando um melhor entendimento das dificuldades de gerenciamento da produção através do estudo de vários tipos de sistemas de produção.

### **2.2 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO**

A função produção, compreendida como o conjunto de atividades que levam à transformação de um bem tangível em outro com maior utilidade, acompanha o homem desde sua origem. Quando trabalha a pedra a fim de transformá-la em utensílio mais eficaz, o homem pré-histórico estava executando uma atividade de produção (MARTINS & LAUGENI, 2005).

Segundo Slack (2002), a administração da produção (AP) trata da maneira pela quais as organizações produzem bens e serviços. Tudo que você veste, come senta em cima, usa, lê ou lança na prática de esportes chega a você graças aos gerentes de operações que organizam sua produção.

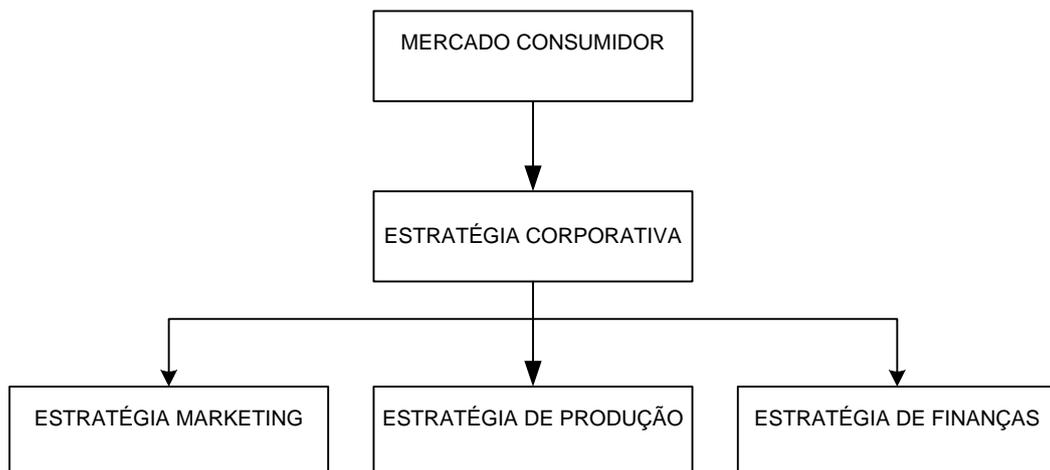
Apartir de uma perspectiva corporativa, a administração da produção (AP) pode ser definida como o gerenciamento dos recursos diretos que são necessários para a obtenção dos produtos e serviços de uma organização (DAVIS, 2001).

Para Gaither e Frazier (2005) “É a administração de produção de uma organização, que transforma os insumos, nos produtos e insumos da organização.” Produção então pode ser entendida como entrada de matérias, processamento e saída do produto final para comercialização, a chamada Administração da Produção (APO).

Produção consiste em todas as atividades que diretamente estão relacionadas com a produção de bens ou serviços. A função produção não compreende apenas as operações de fabricação e montagem de bens, mas também as atividades de armazenagem, movimentação, entretenimento, aluguel, etc. (TUBINO, 2000).

A função da administração de produção pode ser entendida como a união de recursos para a produção de bens ou serviços e que tem por finalidade a satisfação dos clientes finais; tem como principal característica do produto ou serviço a inovação e criatividade.

O mercado consumidor – os clientes dos bens e serviços da empresa – dá forma à estratégia corporativa da companhia. Essa estratégia está baseada na missão corporativa e, basicamente, reflete como a empresa planeja usar todos os seus recursos e suas funções (marketing, finanças e produção) para obter uma vantagem competitiva. A estratégia de produção especifica como a empresa irá empregar suas capacidades de produção para apoiar sua estratégia corporativa. (De modo semelhante, a estratégia de marketing aborda a forma como a empresa irá vender e distribuir seus bens e serviços, e a estratégia de finanças identificam qual a melhor forma de utilizar os recursos financeiros da empresa, como mostra a Figura 2.1)



**Figura 2.1** – O Papel da AP dentro da Organização

**Fonte:** Davis, (2001).

“Pode-se definir a produção em três termos: função produção, gerente de produção e administração da produção. A função produção se encarrega de reunir os recursos para a produção de bens e serviços. Os gerentes de produção se

encarregam de controlar os recursos envolvidos pela função produção. Administração da produção é a ferramenta do gerente de produção para gerir a função produção de maneira eficiente.”

Dentro da função produção, as decisões mais importantes podem ser divididas em três áreas:

- Decisões estratégicas (longo prazo);
- Decisões táticas (médio prazo);
- Decisões de planejamento operacional e de controle (curto prazo).

Decisões de administração da produção no nível estratégico causam impacto sobre a efetividade da empresa a longo prazo, em termos do grau de adequação com que ela aborda as necessidades de seus clientes. Assim, para a empresa ter sucesso em suas decisões, elas devem estar alinhadas com a estratégia corporativa. As decisões tomadas no nível estratégico determinam, as condições ou as restrições sob as quais a empresa deve operar a curto e médio prazo.

O planejamento tático trata basicamente a questão de como enquadrar materiais e mão-de-obra de forma eficiente, dentro das restrições das decisões estratégicas que foram previamente tomadas. Algumas das questões são:

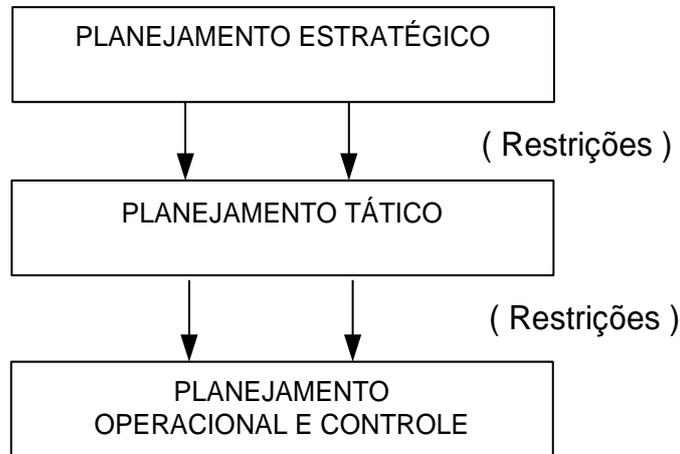
- De quantos trabalhadores precisamos?
- Quando precisamos deles?
- Devemos alocar horas extras ou colocar outro turno?
- Quando devemos mandar entregar material?
- Devemos ter um estoque de produtos acabados?

Estas decisões táticas definem as restrições de operações, sob as quais o planejamento operacional e as decisões de controle são tomados (DAVIS, 2001).

As decisões gerenciais com respeito ao planejamento operacional e ao controle são, de forma comparativa, muito restritas e de curto prazo. Por exemplo:

- Em quais tarefas iremos trabalhar hoje ou esta semana?
- A quem atribuiremos tais tarefas?
- Quais trabalhos têm prioridade?

A Figura 2.2 Mostra a relação hierárquica entre essas três funções de planejamento.



**Figura 2.2** – Hierarquia do Planejamento da Produção

**Fonte:** Davis, (2001).

### 2.3 SISTEMA DE FLUXO DE MATERIAIS

A “Administração da cadeia de suprimentos corresponde à atividade responsável por gerenciar o fluxo de materiais e informações além das fronteiras da organização, preocupando-se com a gestão de compras e suprimentos de materiais, a gestão da distribuição física e a logística envolvida” (SLACK,2009).

O “Planejamento e controle da qualidade responsabilizam-se por monitorar e tomar as providencias corretivas para que sejam atendidas as especificações pertinentes aos produtos e serviços da organização (especificações de projetos ou requisitos declarados pelo cliente), garantindo deste modo a satisfação dos clientes e, conseqüentemente, a manutenção da imagem e a competitividade da organização” (SLACK, 2009).

O “Planejamento e controle da Produção” consistem nas atividades que estabelece o plano operacional para administração da produção, preocupando-se em gerenciar as atividades da operação produtiva de modo a satisfazer a demanda dos consumidores operando continuamente (SLACK, 2009)

A empresa adquire de fornecedores o material bruto e/ou subconjuntos para atender as necessidades de produção, e o gerenciamento de aquisição e controle de

inventários é do departamento de compras e estoque de material que providencia a entrada destes no sistema produtivo.

Segundo Slack, (2009):

O sistema produtivo consiste de centros de produção que processam o material bruto e/ou subconjuntos transformando-os em produto acabado, sendo então o departamento de produção responsável pelo gerenciamento de mão de obra e instalações que determinarão a capacidade produtiva de cada centro que irá executar as rotinas para produzir o produto. Produtos acabados deixam o sistema produtivo para atender a demanda de clientes, que podem ser um consumidor direto, um varejista, um atacadista ou cliente interno parte de um outro processo de manufatura. É função do departamento de distribuição e vendas o gerenciamento das quantidades e armazenamento destes produtos para satisfazer as necessidades de atendimento do cliente.

Baseado na colocação de Johnson e Montgomery (1974) afirmam que três fatores do fluxo de material são de grande interesse para o gerenciamento da produção:

- Quantidade/Tempo – é a quantidade a ser processado por vez em um determinado período de tempo;
- Qualidade – grau de conformidade com as especificações;
- Custo – valor de todos os recursos gastos para a fabricação do produto.

Procedimentos para planejamento e controle formais destes fatores devem ser estabelecidos, de modo que uma companhia terá unidades organizacionais e sistemas de informações para controlar a produção, inventários, qualidade e custos.

## **2.4 SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

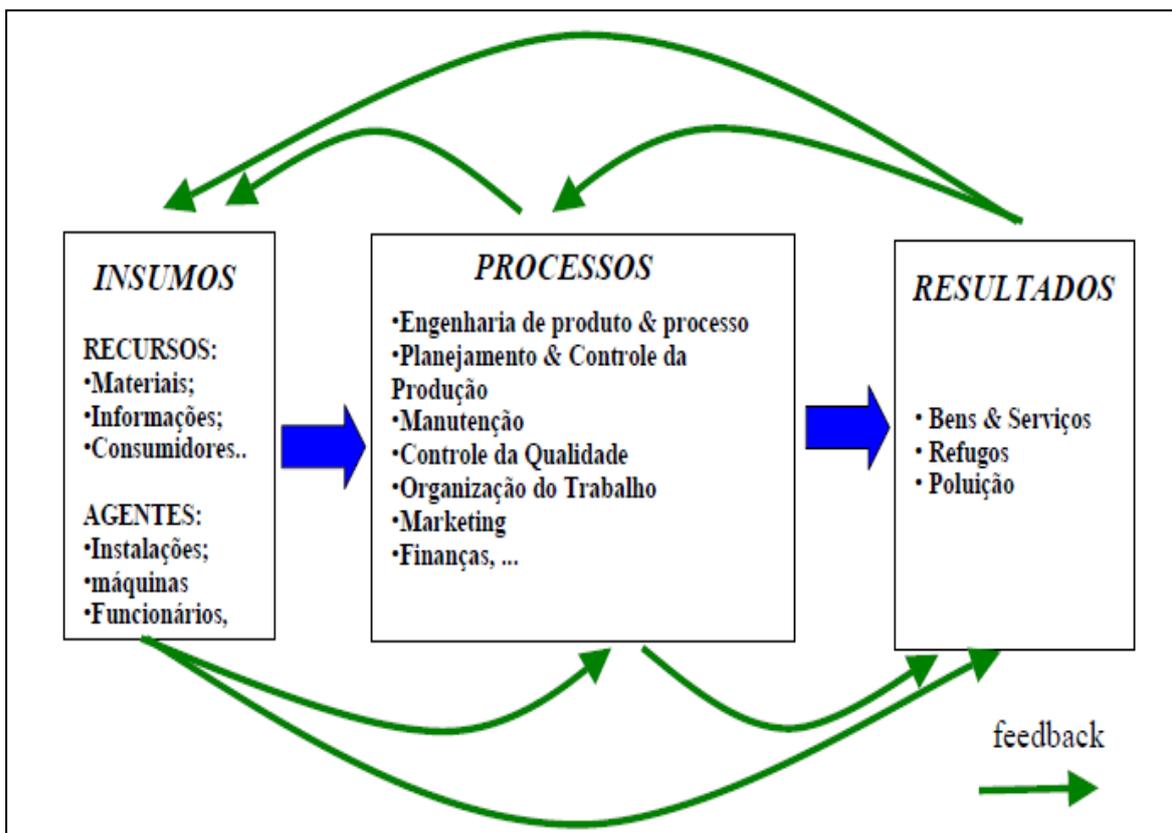
De acordo com Russomano (*apud* Tagliari, 2002), um sistema de produção pode ser definido como a configuração de recursos combinados, para a provisão de bens e serviços. A explicitação dos itens físicos que compõem esses recursos combinados produz o que se denomina sistemas físicos, cujas principais categorias de recursos são as matérias-primas, os equipamentos, a mão-de-obra e os produtos associados ao sistema de produção.

Palomino (2001) apresenta sistemas de produção como processos planejados pelos quais elementos são transformados em produtos úteis. Classifica os sistemas de produção pelo tipo de produto final, como sendo: sistemas discretos e contínuos.

Rosa (2002) diz que um sistema é definido por conter um processo específico de funcionamento a partir de determinados insumos (*inputs*) de forma a atender determinados resultados (*outputs*), sendo organizado previamente para atender esses resultados.

Contudo, esta organização prévia não é garantia que os resultados sejam atingidos conforme o planejado, sendo necessário monitorar o sistema ao longo de seu desenvolvimento até a etapa final para avaliar as não conformidades entre o resultado real e o planejado.

O monitoramento proporcionara um constante retorno de resultados (feedback) possibilitando a correção de eventuais desvios no funcionamento do sistema. A Figura 2.3 sintetiza um sistema de empresa industrial.



**Figura 2.3** – Sistema: Empresarial Industrial

Fonte: Rosa, (2002).

Sistemas discretos são compostos de partes discretas, podem ser quantificados numa forma discreta por número real. Exemplo desse tipo de sistema a produção de eletrodomésticos, máquinas, ferramentas, automóveis, livros etc.

Sistemas contínuos quando o produto final não pode ser identificado individualmente é contado em parcelas fracionárias, como litros, toneladas, metros etc.

Souza (2003) classifica o sistema de produção de duas formas. Classificação por tipo de produto e a de processo. A classificação por tipo de produto é apresentada como:

- a) Continua: no qual o fluxo contínuo de produção agrega valor ao produto através de misturas, separação, destilação, reação química, etc;
- b) Seriada discreta: fluxo de produção com unidades discretas, executadas e planejadas de maneira a obedecer a um seqüenciamento ou taxas de produção; e
- c) Sob encomenda – produção na qual cada unidade ou pequenas quantidades de unidades é gerenciada por uma equipe de produção (projeto) específica para esse propósito.

A classificação por tipo de processo é apresentada como:

- a) Job shop – neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que não possuem uma ordem definida;
- b) Flow shop – neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas seguindo uma ordem definida; e
- c) Linha de produção – neste tipo de produção, o processo produtivo é caracterizado por máquinas que possuem uma ordem definida com a particularidade de todas as peças 'visitarem' todas as máquinas.

Foram apresentadas algumas formas de se classificar os sistemas de produção. A classificação quanto ao tipo de produto está relacionada à natureza intrínseca do material a ser transformado e a dinâmica do fluxo nesta transformação. Já a classificação quanto ao tipo de processo está relacionado com a forma como os recursos produtivos estão organizados para a realização da transformação do produto.

## 2.5 SISTEMA DE MANUFATURA

Souza (2002) destaca em seu trabalho a evolução cronológica dos sistemas de manufatura, primeiro com enfoque na manufatura americana considerando três estágios ou eras.

- Era da Produção Artesanal – até 1850;
- Era da Produção em Massa – de 1850 a 1975;
- Era da Produção Flexível ou Enxuta – após 1975.

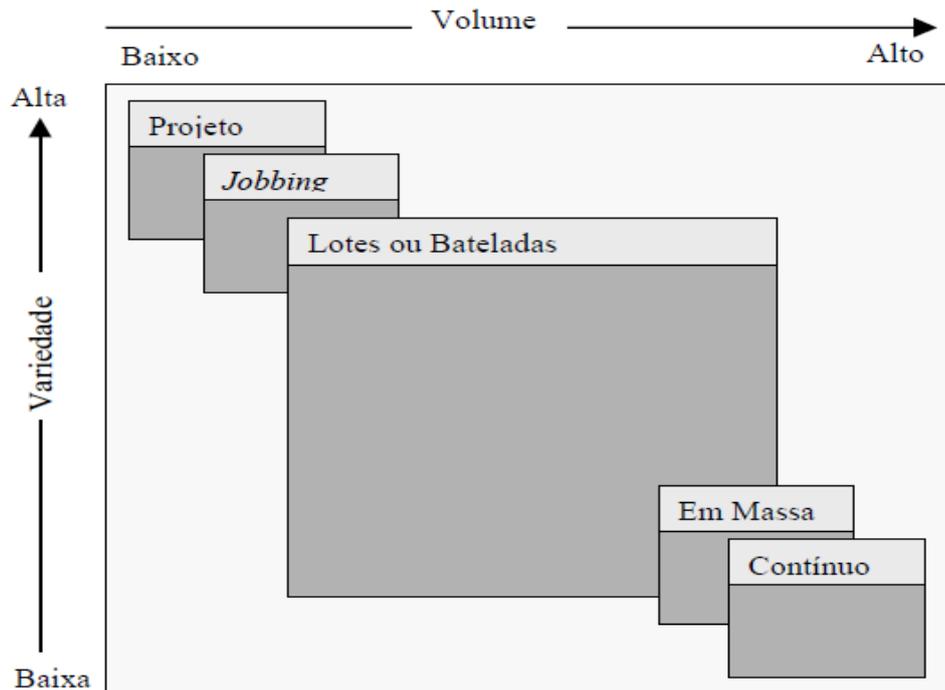
E em seguida tratando da evolução tecnológica do final deste século e virada do milênio, quando surgiram novas propostas de sistemas de manufatura, como:

- *Lean Manufacturing* – Sistema de Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta;
- *Agile Manufacturing* – Sistema de Manufatura Ágil;
- *Holonic Manufacturing systems* – Sistema de Manufatura Holônica.

As mudanças visam buscar uma maior eficiência dos sistemas de manufatura para as organizações possibilitando a conquista do mercado consumidor e oferecer produtos variados com qualidade, baixo custo e curto espaço tempo.

Para Slack *et al.*, (2002) cada tipo de processo em manufatura implica uma forma diferente de organizar as atividades das operações com diferentes características de volume e variedade.

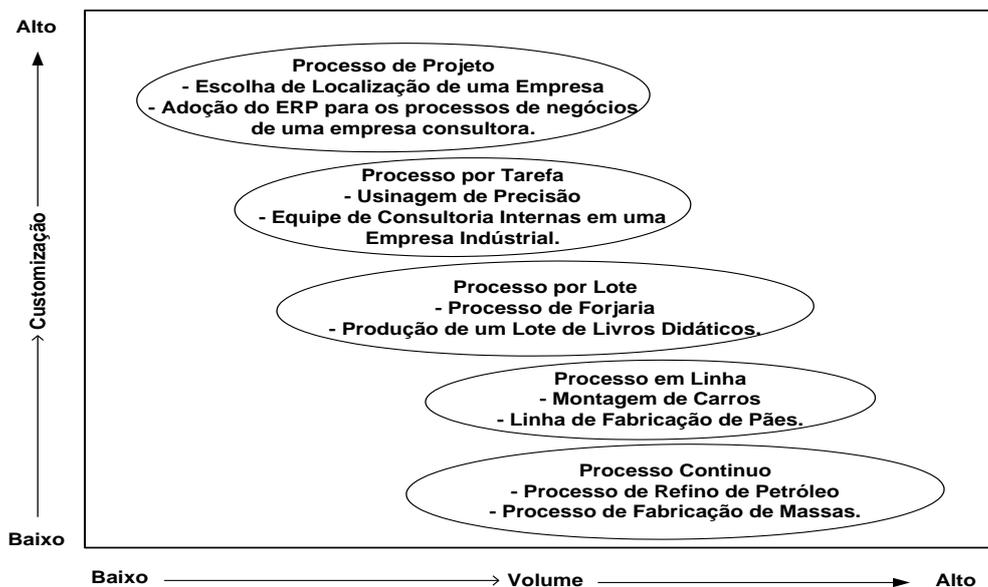
A posição volume-variedade de uma produção tem implicações nos custos. A Figura 2.4 mostra os tipos de processos de manufatura em forma gráfica relacionando a posição volume-variedade de uma produção, considerando a variedade no eixo vertical e o volume no eixo horizontal.



**Figura 2.4** – Tipos de Processos em Operações de Manufatura

Fonte: Slack *et al.*(2002).

Segundo Krajewski e Ritzman (2004) os processos em organizações industriais dependem do volume e do grau de customização, considerando a customização no eixo vertical e o volume no eixo horizontal, conforme mostra a Figura 2.5.



**Figura 2.5** – Processos em Organizações Industriais

Fonte: Krajewski e Ritzman (2004).

Serão apresentados exemplos que ajudaram a compreender cada um dos tipos de processos de manufatura apresentado anteriormente.

Processo de Projeto: incluem construções de navios, atividades das companhias de construções e grandes operações de fabricação como as de turbo geradores.

Processo por Tarefa (Processo de *Jobbing*): nesse tipo de processo compreendem muitas técnicas especializadas, como mestres ferramenteiros especializados para usinagem de precisão.

Processo por Lote (ou Bateladas): nesse tipo de processo compreendem manufatura de máquinas-ferramentas e a manufatura da maior parte de peças de conjuntos montados em massa. Um processo por lote e o processo contínuo, os volumes são elevados e os produtos são padronizados, permitindo que os recursos sejam organizados em torno de um produto.

Processo Contínuo: são as refinarias de petróleo, siderúrgicas e algumas fábricas de papéis. Um processo contínuo é o extremo da produção em grandes volumes e padronizado com fluxo de linha rígido.

## 2.6 RACIONALIZAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo a cronologia das diferentes abordagens para o estudo do trabalho, somente a partir de 1930 deu início ao movimento para o estudo do método de trabalho visando descobrir o método mais simples de executar uma tarefa (BARNES, 1986).

Taylor propõe que a definição do método de trabalho passe a ser uma atribuição da gerencia e não uma escolha do operário. Cabe a gerencia analisar a forma que o trabalho será executado, eliminando movimentos inúteis e fixar a melhor forma de execução de cada tarefa (ZANCUL *et al.*, 2005).

Baseado na colocação de Duarte, (2003).

“entendeu que a racionalização industrial é o conjunto de conceitos e ferramentas voltadas para a análise, não somente do trabalho, mas do sistema produtivo como um todo, e cita a definição apresentada pela *American Institute of Industrial Engineers* “Compete à Racionalização Industrial o projeto, a melhoria e a implantação de sistemas integrados envolvendo homens, materiais e equipamentos; especificar, prever e avaliar os resultados obtidos desses sistemas, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projetos de Engenharia”.

## 2.7 PROCESSOS

Segundo Gonçalves (2000) diz que a idéia de processo tem estado presente nos textos e nas discussões sobre administração de empresas, e que embora muito presente, o conceito de processo não tem uma interpretação única, e a variedade de significados encontrados tem gerado inúmeros mal-entendidos.

De acordo com Gonçalves (2000), não existe um produto ou serviço oferecido por uma empresa sem um processo empresarial. Da mesma forma, não faz sentido existir um processo empresarial que não ofereça um produto ou serviço.

Qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação.

Um processo é qualquer atividade ou conjunto de atividade que parte de um ou mais insumos, transformando-os em um ou mais produtos ou serviços para clientes (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004).

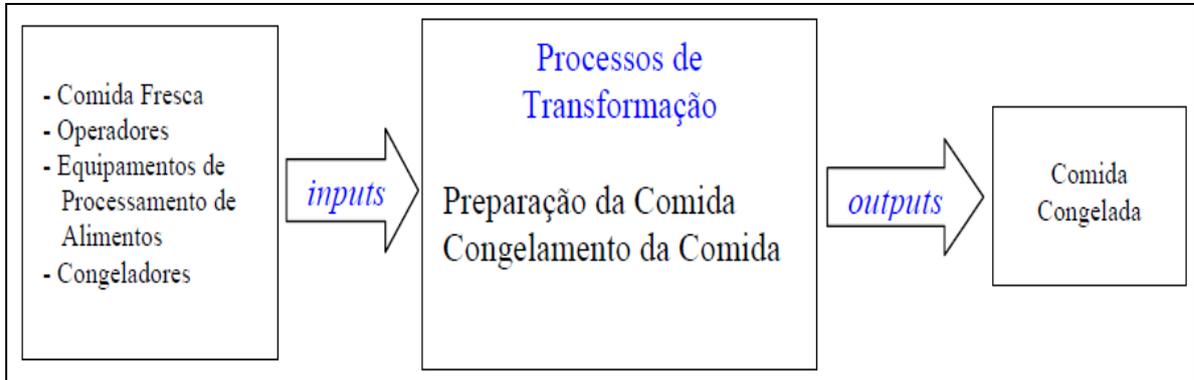
Os processos nem sempre são formados de tarefas claramente delineadas em termos de conteúdo, duração e consumo de recursos e nem precisam ser consistentes ou realizados em seqüência particular, conforme mostra os exemplos de processos do Quadro 2.1.

**Quadro 2.1 – Processos de Diferentes Características**

<b>Processo como</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Características</b>
<b>Fluxo de Material</b>	<b>Processos de Fabricação Industrial</b>	<b>Inputs e Outputs Claros Atividades Discretas Fluxo Observável Desenvolvimento Linear Seqüência de Atividades</b>
<b>Atividades Coordenadas</b>	<b>Negociação Salarial</b>	<b>Sem Seqüência Obrigatória Nenhum Fluxo Perceptível</b>

Fonte: Gonçalves, (2000).

As atividades de produção podem ser vistas conforme este modelo *input – transformação – output*. A Figura 2.6 demonstra uma atividade de produção conforme citado acima.

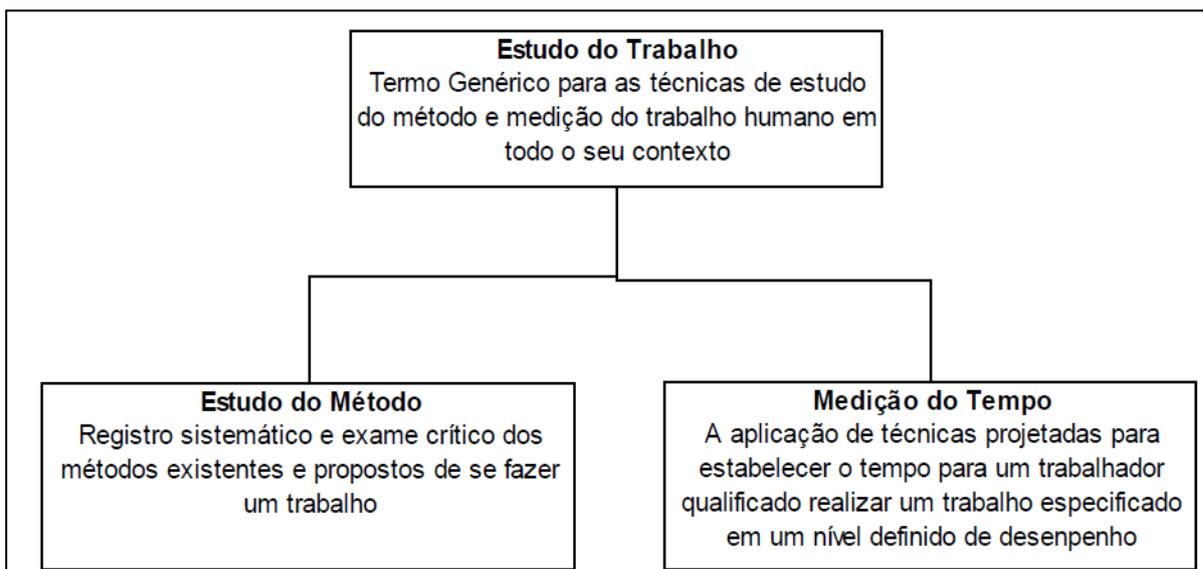


**Figura 2.6** – Atividade de Produção – Fabricante de comida Congelada

**Fonte:** Slack *et al.*, (2002).

## 2.8 TEMPOS E MÉTODOS

Com o surgimento da doutrina básica da “Administração Científica” estabelecida por Taylor em 1911, dois campos de estudo emergiram separados, porém relacionados. O primeiro foi o estudo do método, que determina os métodos e atividades que devem ser incluídas no trabalho. O segundo é a medição do trabalho (tempo), que se preocupa com a medição do tempo gasto na execução de um trabalho. A Figura 2.7 ilustra esta abordagem de Slack *et al.*, (2002).



**Figura 2.7** – Estudo do Trabalho compreende Estudo do Método e Medição do Trabalho

**Fonte:** Slack *et al.*, (2002).

Segundo Davis, (2001).

O estudo de tempos é geralmente conduzido através de cronometragens no local de trabalho ou analisando gravações em fitas de vídeos. Utilizando métodos, o trabalho ou tarefas que estão sendo analisadas são se paradas em partes ou elementos mensuráveis, e cada elemento é cronometrado individualmente. Após varias repetições é calculado a média dos tempos coletados. Os tempos médios são somados e o resultado é o tempo gasto por cada operador.

Conforme Rosa (2002), o estudo dos métodos tem por objetivo a procura, análise e implantação de rotinas mais eficientes e eficazes para a realização de tarefas. A idéia de que não existe um método perfeito permite uma postura crítica e coerente com uma contínua busca de aperfeiçoamento.

De acordo Martins e Laugeni (2005), os tempos de produção de linhas automatizadas variam muito pouco, e quanto maior a intervenção humana na produção, maior é a dificuldade de se medir corretamente os tempos, uma vez que cada operador tem habilidades, força e vontades diferentes.

O tempo que uma operação leva para ser completada na realização de um trabalho é chamado de tempo padrão.

Para Martins e Laugeni (2005), a eficiência e os **tempos padrões de produção** são influenciados pelo tipo do fluxo de material dentro da empresa, processo escolhido, tecnologia utilizada e características do trabalho que está sendo analisado. As medidas de tempos padrões de produção são dados importantes para:

- Estabelecer padrões para os programas de produção para permitir o planejamento da fábrica, utilizando com eficácia os recursos disponíveis e, também para avaliar o desempenho de produção em relação ao padrão existente;
- Fornecer os dados para a determinação dos custos padrões<sup>7</sup>, para levantamento de custos de fabricação, determinação de orçamentos (ou *budgets*)<sup>8</sup> e estimativa do custo de um produto novo;

---

<sup>7</sup> Significa o Custo estimado de uma unidade de acordo com os dados levantados na Produção. O tempo padrão é um dos dados mais importantes para determinar este valor.

<sup>8</sup> Tempo em inglês para uma projeção de custos considerando um objetivo determinado.

- Fornecer dados para o estudo de balanceamento de estruturas de produção, comparar roteiros de fabricação e analisar o planejamento de capacidade.

## **2.9 CAPACIDADE PRODUTIVA EM UNIDADES DE REDES.**

Na busca de atingir melhores índices de lucratividade, as empresas procuram reduzir ao máximo todos os custos operacionais, tendo como objetivo trabalhar com a máxima capacidade produtiva.

Para que sejam atingidos melhores resultados em produtividade e competitividade, torna-se extremamente importante um planejamento adequado e voltado para as capacidades da produção. Segundo Slack, (2002) “um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros e clientes satisfeitos, enquanto que o equilíbrio “errado” pode ser potencialmente desastroso.”

Tanto em casos de excesso como também em situações de capacidade produtiva insuficiente, os custos extras e indesejáveis acabam aparecendo, gerando assim várias desvantagens.

Uma capacidade insuficiente causa uma deteriorização do nível de serviços a clientes, principalmente no que diz respeito aos prazos e sua confiabilidade. Leva também à frustração do pessoal da fábrica, devido à grande pressão e à falta de capacidade para cumprir os prazos prometidos. Já em caso de excesso de capacidade, os custos adicionais aparecem, sendo totalmente inviáveis num ambiente extremamente competitivo.

Inicialmente é necessário observar o conceito de capacidade produtiva em um ambiente de fabricação no chão de fábrica. Para Slack, (2002) “a capacidade produtiva de uma operação é o nível máximo de atividade de valor adicionado que pode ser conseguida em condições normais de operação durante determinado período de tempo.”

Muitas organizações operam abaixo de sua capacidade máxima de processamento, seja porque a demanda é insuficiente para “preencher” completamente sua capacidade, seja por uma política deliberada, de forma que a operação possa responder rapidamente a cada novo pedido.

As estratégias para lidar com mudanças de demanda e, conseqüentemente, de capacidade, podem ser de longo, médio ou curto prazo. As primeiras dizem respeito a introduzir (ou eliminar) incrementos grandes de capacidade física. Os ajustes de capacidade no médio prazo envolvem, por exemplo, alteração no número de horas em que os equipamentos são utilizados.

Por fim, a maioria das operações tem de estar preparadas, também, para mudanças diárias de capacidade em resposta a aumentos imprevistos de demanda.

No quadro abaixo, podemos observar os diferentes níveis de decisão para aumento da capacidade produtiva, que incluem as seguintes atividades:

- Avaliação da capacidade existente;
- Previsões de necessidades futuras de capacidade;
- Identificação de diferentes formas de alterar a capacidade a curto, médio e longo prazos;
- Identificação de diferentes formas de alterar a demanda;
- Avaliação do impacto da decisão a respeito de capacidade sobre o desempenho da operação;
- Avaliação econômica, operacional e tecnológica de alternativas de incrementar capacidade;
- Seleção de alternativas para a obtenção de capacidade adicional.

## **2.10 ARRANJO FÍSICO (*Layout*)**

O arranjo físico visa dispor da melhor forma possível às máquinas e equipamentos necessários à execução das atividades. Ele é uma das características evidentes de uma produção ou prestação de serviços, porque determina sua forma e aparência.

O arranjo físico é uma das primeiras coisas que se nota quando se entra em uma fábrica. Pequenas mudanças no arranjo físico podem influenciar diretamente no fluxo de materiais ou no fluxo de pessoas. Um supermercado, por exemplo, pode alterar seu arranjo físico e desviar um maior fluxo de clientes para uma determinada área de sua preferência.

Essas mudanças, pequenas ou não, podem afetar positivamente ou negativamente, os custos e a eficácia geral da produção.

Há razões importantes para escolhermos o arranjo físico mais adequado, entre elas temos: Mudar o arranjo físico existente é uma atividade que tem algum grau de dificuldade e de longa duração, por causa dos recursos como máquinas, equipamentos e bancadas, mudanças erradas no arranjo físico podem interromper ou prejudicar a produção, prejudicando prazos de entrega ou levando a perda de produção. Um arranjo físico incorreto pode levar a fluxos longos ou confusos, altos estoques sem necessidade, fluxos imprevisíveis e altos custos.

Há grande pressão da produção para que o arranjo físico não seja alterado constantemente. “A mudança do arranjo físico pode ser de execução difícil e cara e, portanto, os gerentes de produção podem relutar em fazê-la com frequência” (SLACK, 2002).

Como são grandes as dificuldades de tempo, perda de produção e custos, alterar constantemente o arranjo físico não é interessante para as empresas. O ideal é acertar já na escolha do arranjo físico, escolhendo de modo a aperfeiçoar seu processo produtivo, com isso a empresa pode reduzir custos, aumentar sua produtividade, diminuir movimentações desnecessárias de pessoas, equipamentos e materiais.

Com uma correta escolha do arranjo físico, não haverá necessidade de constantes alterações, sendo necessárias apenas eventuais mudanças para adequar-se às necessidades de alteração do processo. “Projetar o arranjo físico de uma operação produtiva, assim como qualquer atividade de projeto, deve iniciar-se com os objetivos estratégicos da produção” (SLACK, 2002).

Mas dessa forma se esta apenas iniciando um processo de múltiplos estágios que levarão ao arranjo físico final de uma operação. Lembrando que, tipo de processo não é o mesmo que arranjo físico, pois, os tipos de processo são abordagens para a organização das atividades e processos de produção. “Arranjo físico é um conceito mais restrito, mas é a manifestação física de um tipo de processo” (SLACK, 2002).

Geralmente os tipos de processo são escolhidos de forma a maximizar o volume produtivo, buscando sempre o extremo alto volume - baixa variedade dos

tipos de processo. “A maioria dos arranjos físicos, na prática, derivam de apenas quatro tipos básicos de arranjo físico” (SLACK, 2002).

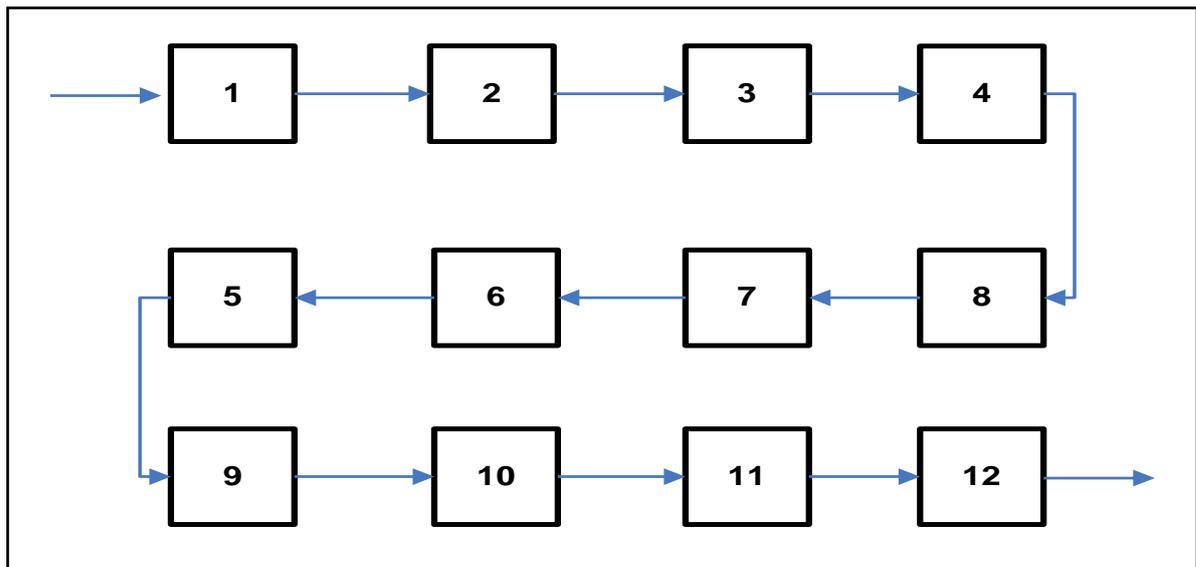
Os quatro tipos de arranjo físicos são:

- Arranjo físico posicional
- Arranjo físico por processo
- Arranjo físico celular
- Arranjo físico por produto

Cada tipo de processo não tem um modelo de arranjo físico pré-determinado, podendo-se então, alinhar estrategicamente um determinado tipo de processo a um dos vários tipos de arranjo físico. O tipo básico de arranjo físico define a maneira geral segundo a qual os recursos vão ser distribuídos, mas ele não define a posição exata de cada elemento da operação. “O estágio final na atividade de definição do arranjo físico é a definição do projeto detalhado de posicionamento físico dos recursos” (SLACK, 2002).

O tipo de *layout* usado em nosso estudo é o *layout* em linha. Nesse *layout*, as máquinas ou estações de trabalho são organizados de acordo com a seqüência das operações e são executadas com a seqüência estabelecida sem caminhos alternativos.

Esse tipo de *layout* é indicado para produção com pouca ou nenhuma diversificação, em quantidade constante ao longo do tempo e em grande quantidade. Uma das desvantagens desse tipo de *layout* é que requer um alto investimento em máquinas e pode apresentar problemas com relação à qualidade dos produtos. Para os operadores costuma gerar monotonia e estresse (MARTINS e LAUGENI, 2005).



**Figura 2.8** – Modelo de *Layout* em Linha

Fonte: Martins e Laugeni, (2005).

## 2.11 BALANCEAMENTO DE LINHA

Uma linha de produção consiste num conjunto de Postos de Trabalho (PT) cuja posição é fixa e cuja seqüência é ditada pela lógica das sucessivas operações a realizar e descritas na gama operatória. Recorde-se que um PT pode ser constituído por um único operador ou por vários operadores realizando operações manuais eventualmente assistidas por ferramentas ou pequenos equipamentos.

Para ROCHA (2005), balancear uma linha de produção é ajustá-la às necessidades da demanda, maximizando a utilização dos seus postos ou estações, buscando unificar o tempo unitário de execução do produto em suas sucessivas operações.

Numa indústria, por exemplo, testar o funcionamento do produto é um posto de trabalho e embalar o produto é outro. Se o teste de funcionamento anda mais rápido que o embalamento do produto, ou seja, gasta menos tempo unitário, pode-se compor uma estação de trabalho formada por vários postos de embalamento, visando equilibrar o sistema e fazer as duas estações terem tempos iguais ou aproximadamente iguais.

Nas etapas de fabricação do produto, cada posto ou estação de trabalho gasta determinado tempo para executar a tarefa que lhe cabe. Se o tempo que cada uma

das estações gasta para fazer um produto é o mesmo, o balanceamento não tem problema. Ele já acontece e produzir mais ou menos depende somente da cadência ou velocidade imposta ao sistema. Se os tempos são diferentes, estudo adicional se faz necessário (ROCHA, 2005).

O balanceamento de uma linha de produção consiste em distribuir a carga das várias operações o mais uniformemente possível pelos vários PT.

Segundo Rocha (2005) Quando se inicia a fabricação de um novo produto, a Engenharia de Processo começa por estudar todas as operações necessárias executar, estima a sua duração e tendo em conta as relações de precedência entre todas as operações, procede ao chamado balanceamento da linha que se vai constituir para fabricar aquele produto.

Tendo definida a taxa de produção (ritmo) pode-se calcular a duração do ciclo de produção (*Takt time*) da linha, que é o tempo máximo de trabalho permitido para uma unidade em cada estação. Conforme mostra a Formula 2.1.

O objetivo do balanceamento de linha consiste em compatibilizar a produção com a demanda a fim de assegurar a entrega pontual e evitar o acúmulo de estoque indesejável, assim, se a demanda exige 150 unidades por dia e uma linha opera com 8,8 horas por dia, a taxa de produção desejada para esta linha é de 17 unidades por hora (KRAJEWSKI e RITZMAN, 2004).

$$c = \frac{1}{r} \quad (2.1)$$

Onde

$c$  = duração do ciclo em horas por unidade (*Takt time*)

$r$  = taxa de produção desejada em unidades por hora

Segue-se o balanceamento de Lina, calculando o mínimo teórico para o número de estações de trabalho. Conforme mostra a Formula 2.2.

$$MT = \frac{\sum t}{c} \quad (2.2)$$

Onde

MT = mínimo teórico para o número de estações de trabalho

$\sum t$  = tempo total necessário para montar cada unidade (é a soma do tempo-padrão de todos os elementos de trabalho)

c = duração do ciclo

O objetivo do balanceamento de linha é minimizar o número de estações de trabalho, assegurando automaticamente:

1) Um tempo ocioso mínimo,

$$\text{Tempo ocioso} = n c - \sum t \quad (2.3)$$

Onde

n = número de estações de trabalho

c = duração do ciclo

$\sum t$  = soma do tempo-padrão de todos os elementos de trabalho

2) Uma eficiência máxima

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\sum t}{nc} (100) \quad (2.4)$$

3) Atraso mínimo no balanceamento.

O desbalanceamento é o valor pelo o qual a eficiência não atinge 100%

Desbalanceamento (%) = 100 – Eficiência

Desde que n (número de estações) seja fixado, pode-se otimizar todas as três metas, minimizando o n.

## 2.12 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO DO PROCESSO

O mapeamento de processo é uma técnica usada para detalhar o processo de negócios focando os elementos importantes que influenciam em seu comportamento atual. A orientação do fluxo dos processos é importante porque transforma um simples layout de máquinas dentro de uma fábrica em uma série de processos, tentando reduzir distâncias entre as operações, melhora o aproveitamento do espaço e diminui o tempo de produção.

Oliveira (2003) analisa o mapeamento de processo como uma ferramenta gerencial para documentar, analisar e desenvolver um plano de melhoria nos processos existentes ou possibilita implantar uma nova estrutura voltada para os processos. Analisa ainda o mapeamento do processo como uma representação gráfica, o qual mostra como os recursos de entrada são processados e transformados em saídas, destacando-se a relação e a conexão entre cada atividade.

Mapear ajuda a identificar as fontes de desperdício, fornecendo uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura e serviços, tornando as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo em que se possa discutí-las, agregando conceitos e técnicas enxutas, que ajudam a evitar a implementação de algumas técnicas isoladamente, formando a base para um plano de implementação e mostrando a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material.

Pinho *et al.* (2006) concluem em seus trabalhos, que o mapeamento de processo é um procedimento essencial para a construção do modelo computacional, uma vez que as informações pertinentes do processo de produção são efetivamente evidenciadas por esta ferramenta.

Para iniciar a fase de representação do processo é importante o desenvolvimento de uma lista de atividades pela realização de entrevistas semi-estruturadas, que permitam aos participantes dos processos falarem aberta e claramente a respeito do seu trabalho diário. Pode-se colocar essas informações em uma tabela para facilitar a visualização ou identificação dos produtos produzidos, dos clientes e fornecedores internos e externos do processo, das funções, responsabilidades e dos pontos críticos.

Leal (2003) apresenta em seu trabalho algumas técnicas de mapeamento do processo, analisando-as e exemplificando suas aplicações. Conforme o autor, a definição de qual técnica deve ser utilizada depende da qual se encaixa melhor aos objetivos do mapeamento para uma determinada situação.

Em uma outra fase, faz-se a análise do processo, cuja importância se deve ao fato de permitir uma contínua preocupação com o mercado externo e com todos os níveis da empresa, ou seja, dá-se atenção aos concorrentes e às necessidades do consumidor. A partir daí, segue-se com o desenvolvimento de soluções, avaliação de alternativas e aprovação de propostas.

A melhoria do processo, a última fase do gerenciamento, aborda a avaliação da situação atual dos processos e promoção de planos de melhoria. Para isso, são consideradas algumas etapas como a verificação do plano de melhoria, a implantação da solução ótima e a monitoração dos resultados. Esta fase busca garantir que falhas identificadas sejam profundamente analisadas e solucionadas.

Após análise dos processos, como podemos definir valor? Antes de qualquer outra atitude, é necessário que a empresa defina e entenda quem é o consumidor de seus produtos. A partir daí, deve-se pensar em adicionar valor ao seu produto em termos de qualidade, controle de custos e estratégias de distribuição. Assim, pode-se atender o cliente de uma forma mais satisfatória e justa.

Assim, a empresa começara a entender o seu cliente, o seu produto e a adição de valor dentro do processo produtivo, o que a credencia para iniciar a implantação do sistema de manufatura enxuta.

Assim, de modo geral, o mapeamento de processo é usualmente executado nos seguintes passos:

1. Identificação dos produtos e serviços e seus respectivos processos. Os pontos de início e fim dos processos são identificados neste passo.
2. Reunião de dados e preparação
3. Transformação dos dados em representação visual para identificar gargalos, desperdícios, demoras e duplicação de esforços.

## **CAPÍTULO 3 – MODELAGEM e SIMULAÇÃO**

### **3.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO**

Pidd (1998) relata que sistemas possuem mais do que um componente, são organizados de alguma forma, têm fronteiras e possuem um determinado comportamento. Já Vasconcelos (2003), descreve sistema como um grupo de elementos que interagem são inter-relacionados ou interdependentes, formam um todo complexo e único com um objetivo específica e tem propriedades diferentes que qualquer um de seus elementos.

Para o gerenciamento eficaz de um sistema será necessário um enfoque sistêmico que será a base para o entendimento de sua complexidade e guiar as mudanças necessárias abrangendo desde um pequeno negócio até uma grande cadeia de produção e distribuição (STERMAN, 2000).

Através da modelagem e simulação conseguimos captar e analisar o inter-relacionamento entre os vários componentes de qualquer sistema, podendo desta forma propor novas políticas que possam melhorar os resultados esperados.

Sterman (2000) define modelo como uma representação da realidade projetada para algum propósito definido, já Sousa (2003) define modelo como uma representação simplificada da realidade. De acordo com Sterman (2000), os modelos podem ser classificados em vários tipos. A classificação mais utilizada é modelos de simulação e modelos de otimização. De acordo com o dicionário Aurélio, otimização é o processo pelo qual se determina o valor ótimo de uma grandeza.

O resultado esperado de um modelo de otimização é o melhor caminho para alcançar um determinado objetivo. Modelos de otimização não dizem o que deve acontecer em certas condições, apenas dizem o que se deve fazer para que se obtenha o melhor resultado sob certas condições. Este tipo de modelagem tem três componentes básicos: o objetivo a ser alcançado, as escolhas a serem feitas e as restrições a serem atendidas.

De acordo com o dicionário Aurélio, simulação é a experiência ou ensaio que consiste numa série de cálculos numéricos e decisões de escolha limitada, realizado

segundo um conjunto de regras predeterminadas e apropriado ao emprego de computadores digitais.

Segundo Sterman (2000) simular é imitar o sistema real através do estudo do seu comportamento, com o propósito de estimar qual será o comportamento futuro do sistema sob certas condições

Esse tipo de modelagem tem dois componentes básicos: 1) representação física do problema a ser estudado e, 2) representação das regras de decisão que regulam os fluxos ao longo do sistema.

Baseado em Sterman (2000) as pessoas usam modelos todos os dias, são os modelos mentais. Todas as nossas decisões e ações não são baseadas no mundo real, mais sim em nossas imagens mentais do mundo, no inter-relacionamento entre as suas partes e na influência de nossas ações nesta interação.

Estes modelos mentais são extremamente poderosos e flexíveis pois podem ser adaptados a novas situações e modificados assim que novas informações estejam disponíveis.

Estes modelos acabam se tornando um filtro onde através das nossas experiências interpretamos e avaliamos os planos escolhendo entre as varias possibilidades qual ação será tomada. Sterman (2000) também destaca que a arte de construir modelos é saber o que cortar e o propósito do modelo atua como uma faca lógica. Ela determina o que será cortado deixando somente detalhes essenciais para atender o propósito do modelo.

Filho (2001) conceitua simulação como utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo do mundo real.

Prado (1999) define como um processo de criar e projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir **experimentos** com este modelo com o propósito de entender seu comportamento ou avaliar estratégias para sua concepção, mostrando-se uma poderosa ferramenta para estudos e análises, tendo como vantagem principal o fato de permitir a análise de diversas alterações no cenário virtual, sem o risco de comprometer ou impactar no cenário atual.

Para Dewhrst, Barber & Pritchardc (2002), somente a partir dos anos 90 é que a simulação passou a ser mais estudada e desenvolvida por não especialistas devido principalmente a sua interface amigável que os modelos puderam ser construídos através da manipulação de objetos gráficos, podendo ter suas propriedades e funções pré-configuradas e sua lógica dinâmica pode ser construída através de uma linguagem simples e direta.

Chang (2001) cita algumas vantagens de se utilizar simulação, tais como:

- Ela ajuda entender todo o processo e características da cadeia de suprimentos através de gráficos/animação;
- Capacidade de capturar dados para análise: usuários podem modelar eventos inesperados em certas áreas e entender o impacto deles na cadeia de suprimentos;
- Pode diminuir drasticamente o risco inerente às mudanças de planejamento: usuários podem testar várias alternativas antes de fazer a mudança no planejamento;
- Investigar o impacto de mudanças devido a uma maior demanda por componentes na cadeia de suprimentos;
- Investigar o impacto de algumas inovações dentro da cadeia de suprimentos;
- Investigar o impacto de eliminar uma infra-estrutura existente ou acrescentar uma nova dentro da cadeia de suprimentos;
- Investigar o impacto de mudanças operacionais estratégicas na cadeia de suprimentos, tais como, processo, localização e uso de novas instalações;
- Investigar o impacto da fusão de duas cadeias de suprimentos ou o impacto da separação de alguns componentes da cadeia de suprimentos;
- Investigar as relações entre fornecedores e outros componentes da cadeia de suprimentos de maneira a racionalizar o número e tamanho dos lotes de pedidos, utilizando como base o total de custos, qualidade, flexibilidade e responsabilidades;
- Investigar o impacto de se fabricar partes dos produtos na própria empresa, e também o impacto de se criar novos fornecedores, ou seja, terceirizar alguns processos;
- Investigar as oportunidades de se diminuir as variedades de componentes dos produtos e padronizá-los por toda a cadeia de suprimentos.

Como em todas as metodologias e técnicas utilizadas, a simulação também possui algumas desvantagens, podendo-se citar:

- a) Um bom modelo de simulação pode se tornar caro e levar vários meses para o seu desenvolvimento, especialmente quando os dados são de difícil obtenção;
- b) Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade dos sistemas, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação

realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo.

Disney, Naim & Towill (1997), relatam que as decisões têm seu efeito multiplicado pelo sistema e que modelos robustos nos ajudam a visualizar estes efeitos e a responder as mudanças rapidamente e Sterman (2000), cita que para desenvolver um modelo é preciso:

- a) Ter conhecimento profundo do problema a ser estudado, pois os modelos mais úteis serão construídos por pessoas que conhecem o sistema real;
- b) Ter um método para estruturar o organizar o conhecimento sobre o problema e dar encadeamento a todas as relações importantes que tenham sido definidas o que foi conseguido através da dinâmica de sistemas.

Freitas (2001) descreve três motivos para que uma organização modele sua estrutura:

- 1) Modelos possibilitam avaliar e comparar a performance da organização frente a propostas de mudanças; e estas mudanças podem ter motivação interna ou externa.

Motivação interna: são as metas ou desejos que a organização quer alcançar, como: melhorar a satisfação dos clientes, incrementar os lucros, melhorar a qualidade, reduzir custos, diminuir tempo de ciclo, aumentar a satisfação dos acionistas, melhorar as decisões sobre condições de incertezas. Influências externas: quando a empresa é forçada a mudar devido a efeito de mudanças externas, como: alteração de legislação, tendências econômicas, influências sociais ou vantagens tecnológicas. Normalmente, esses fatos podem ocorrer simultaneamente e criam a necessidade de respostas rápidas;

- 2) Comunicar a existência de uma situação e novas opções de uma maneira eficaz as partes interessadas;
- 3) Ajudar a melhorar processos existentes e selecionar possíveis mudanças.

Modelos de simulação devem ter dois componentes básicos: primeiramente devem incluir uma representação física relevante do problema a ser estudado.

Em um de seus estudos Freitas (2001) construiu um modelo para entender porque grandes cidades dos Estados Unidos continuavam com baixo desenvolvimento apesar de inúmeros programas de investimentos. O modelo contemplava a representação física de vários componentes da cidade como o

tamanho e qualidade da infra-estrutura incluindo casas residências e comerciais, atributos da população como tamanho e composição familiar, habilidades, renda dentre outros, fluxos de entrada e saída da cidade e outras características físicas.

A quantidade de detalhes do modelo depende de seus objetivos, o modelo desenvolvido por Freitas (2001) necessitava apenas da representação de componentes principais comuns a grandes cidades. O segundo componente básico é capturar o comportamento dos atores envolvidos no sistema. Ou seja, como as pessoas respondem a diferentes situações como elas tomam suas decisões. Este componente é representado no modelo na forma de regras de decisão que são determinadas pela observação de como as decisões no mundo real são tomadas. Com a representação da estrutura física do sistema e das regras de decisão o modelo pode simular o comportamento da situação real (STERMAN, 2000).

### **3.2 MODELAGEM E TOMADA DE DECISÃO**

“Modelagem é a técnica utilizada para criar um modelo cuja finalidade é entender e resolver um problema” (BOGHI e SHITSUKA, 2005).

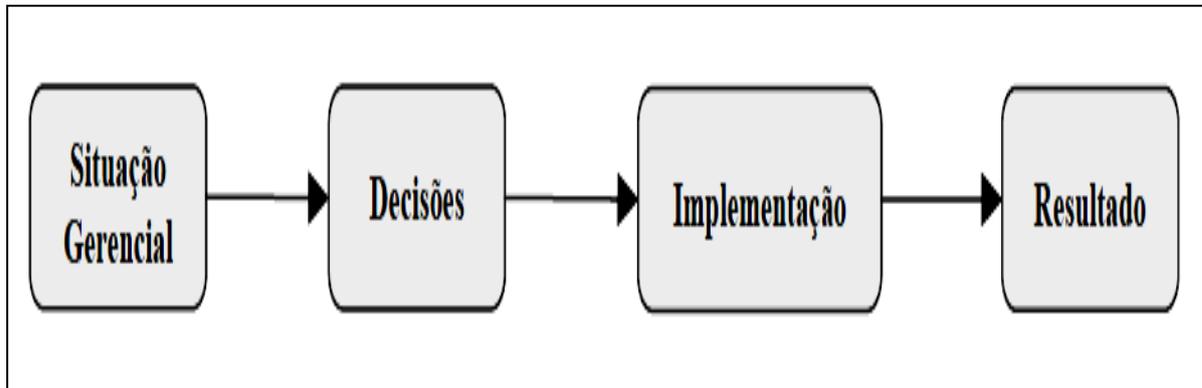
A modelagem tem como princípio básico o uso de representações simbólicas para uma melhor compreensão das interações entre as várias partes de um sistema (HARREL *et al.*, 2002).

A tomada de decisão baseado somente na experiência de um gerente nem sempre será a melhor decisão, como também se aplicarmos métodos de modelagem para dar suporte as decisão gerenciais podem também até não levar a melhor decisão, mas, permite que o gerente obtenha informações importantes, dando lhe condições de tratar questões como: quais alternativas a investigar, onde focar a atenção e determinar quais perguntas básicas a fazer.

Moore e Weatherford (2005) defendem a aplicação do método de modelagem para dar suporte às decisões gerenciais através do desenvolvimento de um modelo da situação gerencial, a utilização de uma ferramenta para a realização de análise do modelo e a tomada de decisão baseada nesta análise.

A Figura 3.1 exhibe de forma gráfica uma abordagem de decisão gerencial. Nesta abordagem o gerente esta diante de uma situação de alternativas conflitantes

ou competitivas, faz sua reflexão e toma as decisões que serão implementadas e obterá as conseqüências em forma de resultados. Para a tomada destas decisões o gerente conta quase que só com sua própria intuição que embora de grande valor, principalmente para os mais experientes, não possui, por definição, um processo analítico racional.



**Figura 3.1** – Abordagem Gerencial para tomada de decisão.

**Fonte** : Moore e Weatherford, (2005).

Segundo Moore e Weatherford (2005), além dos modelos fornecerem uma estrutura para análise lógica e consistente, forçam o gerente a:

1. ser explícito com relação aos objetivos.
2. identificar e registrar os tipos de decisões que influenciam esses objetivos.
3. identificar e registrar interações e concessões entre essas decisões.
4. pensar cuidadosamente sobre variáveis a serem incluídas e suas definições em termos que sejam quantificáveis.
5. considerar que dados são pertinentes para a quantificação dessas variáveis e a determinar suas interações.
6. reconhecer restrições nos valores que essas variáveis quantificadas podem assumir.
7. permitir a comunicação de nossas idéias e percepções para facilitar o trabalho de equipe.

Bressan (2002) apresenta quatro modos de classificação dos modelos:

- modelo contínuo;
- modelo discreto;
- modelo de tempo real; e
- modelo de tempo simulado.

O modelo contínuo depende de variáveis que assumem valores contínuos, isto é, em um domínio de valores contínuos tais como o conjunto de números reais.

O modelo discreto depende de variáveis que assumem valores discretos, isto é, em um domínio de valores finitos ou enumeráveis tais como o conjunto de números inteiros.

Os outros dois tipos dependem de como operam os simuladores nas duas modalidades de tempo: no modelo de tempo real a escala de tempo é a real, isto é, os eventos ocorrem e são tratados na mesma escala de tempo correspondente ao sistema real. Nestes sistemas um operador humano interage com o simulador em tempo real.

O modelo de tempo simulado não acompanha a escala de evolução do tempo real. Um ano do tempo de simulação pode decorrer em poucos segundos de processamento. São utilizados para análises de desempenho em que o interesse é pelas medidas de desempenho.

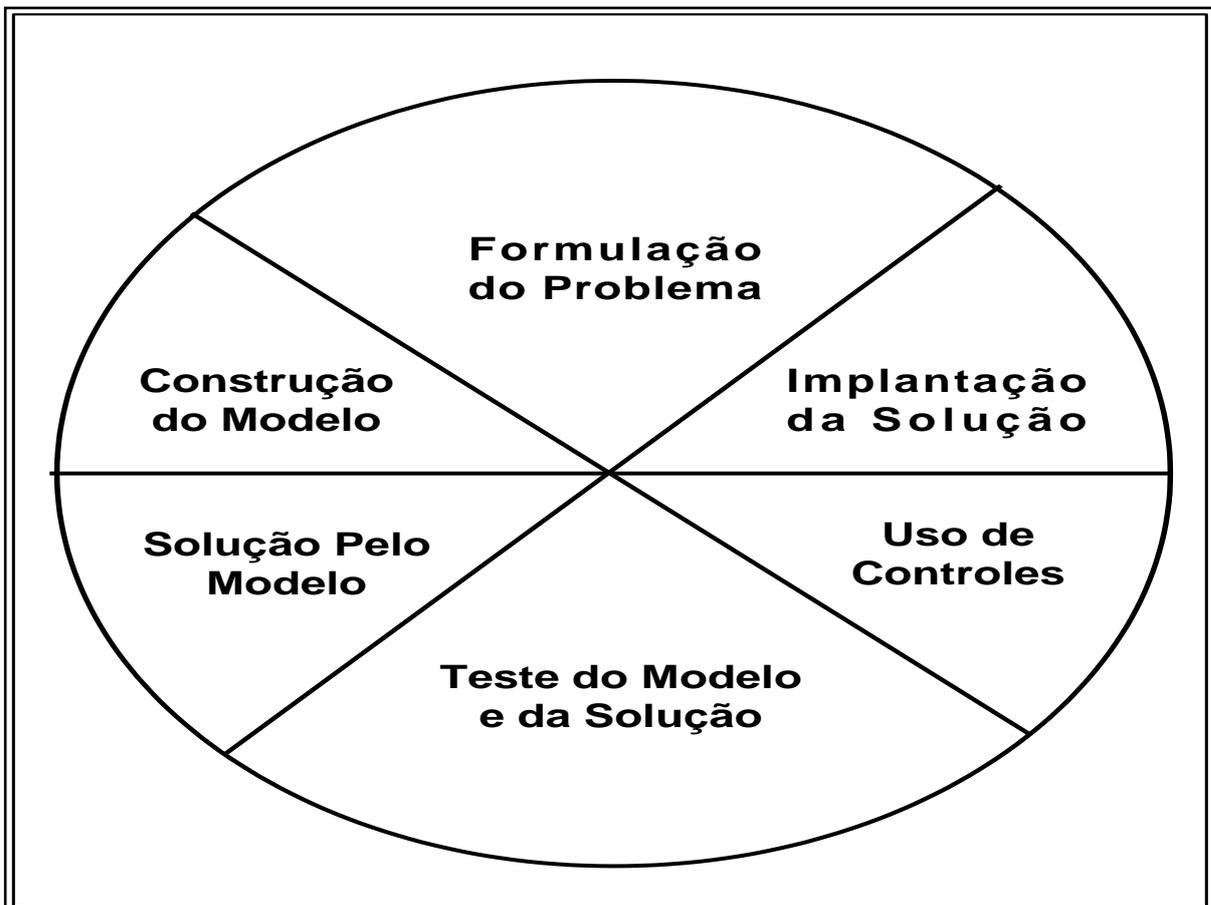
### **3.3 CONSTRUÇÃO DE MODELOS**

As ferramentas de modelagem têm reduzido o tempo e a quantidade de trabalho para construção de modelos, em grande parte do tempo o modelo que se deseja, já existe ou é muito parecido. Os autores Arons e Boer (2001), consideram vantajoso armazenar modelos em um banco de dados para uso futuro.

A solução de problemas por meios de modelos não garante o pleno sucesso em 100% dos casos, pois o modelo é apenas uma simulação da realidade (BOGHI e SHITSUKA, 2005).

Um modelo sempre simplifica a realidade e podem incorporar detalhes suficientes para que: o resultado do modelo atenda as suas necessidades, seja coerente com os dados disponíveis, possa ser analisado no tempo que você dispõe para se dedicar ao processo (MOORE e WEATHERFORD, 2005). Ainda segundo os mesmos autores um modelo de decisão descreve seletivamente uma situação gerencial, designam variáveis de decisão e medidas de desempenho que refletem o objetivo.

Boghi e Shitsuka (2005) apresentam um ciclo de criação com as fases de desenvolvimento e uso de modelos, conforme mostra a Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Ciclo para Criação de Modelos.

**Fonte:** Boghi e Shitsuka, (2005).

Moore e Weatherford (2005) sugerem como guia geral, a divisão do processo de construir modelos em três etapas:

1. Estudar o ambiente para enquadrar a situação gerencial: como enquadramento da situação gerencial os autores entendem que o

modelador deve desenvolver uma maneira organizada de pensar sobre a situação, uma vez que a maioria das situações gerenciais vem até ao modelador na forma de sintomas e não como afirmações claras sobre problemas. A arte de ir de um sintoma para a afirmação nítida sobre um problema é o enquadramento e exige que o modelador selecione ou isole do ambiente total os aspectos da realidade que são relevantes para a situação.

2. Formular uma representação seletiva: Por envolverem decisões e objetivos, as situações de gerenciamento que nos dizem respeito devem estar explicitamente identificadas e definidas, assim, todas as suposições e simplificações específicas devem ser realizadas. Nesta fase é feita a identificação dos principais ingredientes conceituais do modelo, portanto crucial para a criação do modelo de decisão gerencial. Devemos nos concentrar em identificar o que precisa ser trabalhado pelo modelo e aquilo que o mesmo deve produzir, ou seja, identificar seus Insumos e Produtos, assim, o modelo neste ponto é chamado de “caixa preta” porque não sabemos até este momento qual a lógica será colocado dentro da caixa. A Figura 3.3 apresenta esta visão do modelo. Depois de identificados, os Insumos e os Produtos têm que ser aperfeiçoados em suas subdivisões. Os Insumos, também chamados de variáveis exógenas, são divididos em:

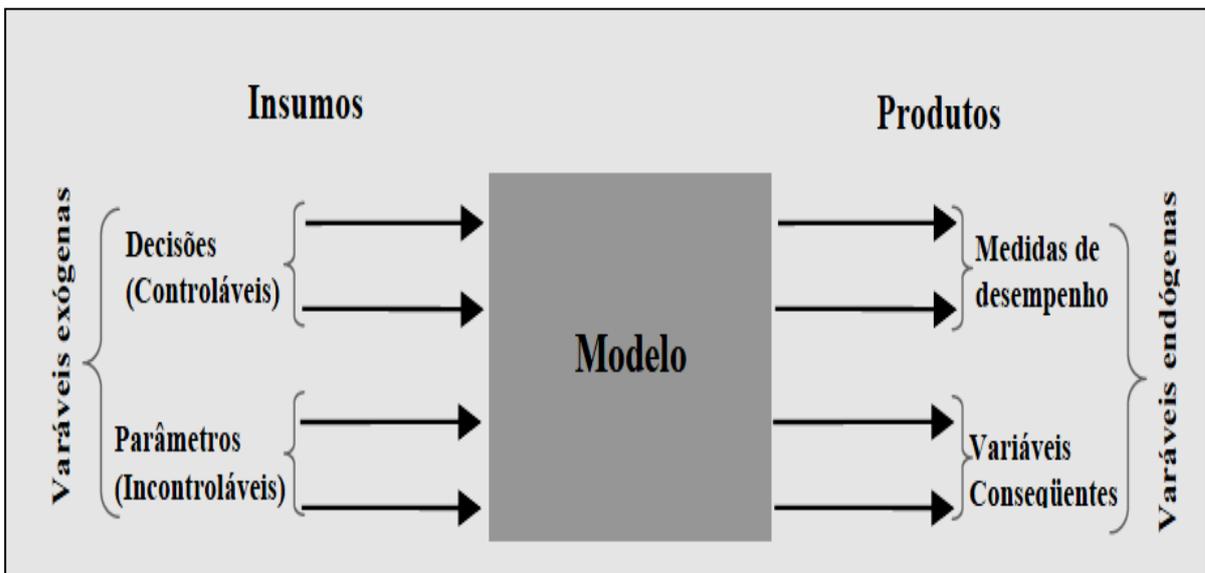
- a) Decisões, variáveis que o gerente controla, ou seja, variáveis de decisão; e
- b) Parâmetros, variáveis que outros controlam, ou variáveis incontroláveis (pelo gerente).

Os Produtos, também chamados de variáveis endógenas, são divididos em:

- a) Medidas de desempenho, variáveis que medem o grau de obtenção dos objetivos, ou seja, funções objetivas; e
- b) Variáveis conseqüentes, que apresentam outras conseqüências que ajudam a entender e interpretar os resultados do modelo.

A estrutura de ingredientes conceituais da “caixa preta” força os gerentes a considerar, no início do processo de modelagem, o que incluir no modelo e o que excluir dele, enquadrando apenas os fatores relevantes.

3. Construir um modelo simbólico (quantitativo): Nesta etapa a dificuldade está no desenvolvimento das equações matemáticas. É necessário ter certa prática para desenvolver a matemática correta para inter-relacionar duas ou mais variáveis como parte da lógica do modelo. Uma técnica útil é explorar a criação de um gráfico que dê um quadro da relação desejada entre as variáveis, ou seja, começar não com a equação matemática final, mas, com um gráfico dela que permita deduzir uma equação aceitável a partir desse gráfico.



**Figura 3.3** – A visão “Caixa Preta” de um modelo.

**Fonte:** Moore e Weatherford, (2005).

Esse capítulo apresentou os principais conceitos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. Abordou, classificou e apresentou conceitos de modelagem e simulação.

## **CAPITULO 4 – TECNOMATIX PLANT SIMULATION 9.0**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo tem a finalidade de abordar uma revisão bibliográfica sobre *Software Tecnomatix Plant Simulation 9.0* (T9) como ferramenta computacional na tomada de decisão e solução de problemas.

### **4.2 SIEMENS BRASIL**

A *Siemens* Brasil, por meio de sua rede global de inovação, desenvolvimento, competência e conhecimento objetivando gerar o mais elevado nível de valor.

A *Siemens* está no Brasil há mais de cem anos e é atualmente o maior conglomerado de engenharia elétrica e eletrônica do País, com suas atividades agrupadas em três setores estratégicos – *Industry, Energy e Healthcare* – enquanto a *Siemens TI Solutions and Services* atua nos três campos.

As primeiras operações da empresa no Brasil datam de 1867, com a instalação da linha telegráfica pioneira entre o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Sul. Em 1895, no Rio de Janeiro, era aberto o primeiro escritório e, dez anos mais tarde, ocorria à fundação da companhia no País. Ao longo do século passado a *Siemens* contribuiu ativamente para a construção e modernização da infra-estrutura do Brasil.

Atualmente, os equipamentos e sistemas da empresa são responsáveis por 50% da energia elétrica no País. No Brasil, o Grupo *Siemens* conta hoje com 9.030 colaboradores, seis centros de pesquisa, desenvolvimento e engenharia, doze unidades fabris e doze escritórios regionais de vendas e serviço.

### **4.3 SIEMENS PLM SOFTWARE**

Em épocas de aumento dos custos e prazos mais apertados de produção, junto com a globalização contínua, a logística tem se transformado em um fator-chave para o sucesso das empresas. O dinheiro pode ser perdido todos os dias devido a programações ineficazes, otimização local e não global alocação inadequada dos recursos e produtividade insuficiente.

A necessidade de entregar os produtos no prazo e de acordo com a demanda, introduzir o *Kanban*, planejar e criar novas linhas de produção e gerenciar redes globais de produção requer critérios de decisões objetivas para ajudar a equipe de gerenciamento a avaliar e comparar abordagens alternativas.

A *Siemens PLM Software*, unidade de negócios de Automação Industrial da *Siemens* Divisão, é uma provedora líder global de gestão de ciclo de vida do produto (PLM) *software* e serviços com cerca de seis milhões de postos de trabalho e 56.000 clientes no mundo inteiro.

Com sede em Plano, Texas, a *Siemens PLM Software* trabalha em colaboração com as empresas para fornecer soluções abertas que ajudam a transformar idéias em produtos bem sucedidos.

A *Siemens Industry Automation Division* (Nuremberga, Alemanha) é uma rede mundial líder nas áreas de sistemas de automação, aparelhagem de baixa tensão e *software* industrial. Seu portfólio abrange de produtos padrão para os setores industriais de manufatura e de processos, a soluções para setores inteiros que englobam a automação de instalações de produção de automóveis e fábricas de produtos químicos.

Como uma fornecedora líder de *software*, a Automação Industrial otimiza o valor acrescentado em toda a cadeia de fabricantes - do design de produto e desenvolvimento para a produção, vendas e uma ampla gama de serviços de manutenção. Cerca de 42.900 funcionários no mundo todo *Siemens Industry Automation*.

#### **4.4 TECNOMATIX PLANT SIMULATION 9.0**

O T9 é uma ferramenta de simulação de eventos separados que ajuda a criar modelos digitais de sistemas logísticos (exemplo, produção), para que seja possível explorar as características dos sistemas e otimizar seu desempenho.

Com esses modelos digitais, podem-se executar experiências e cenários hipotéticos sem afetar os sistemas de produção existentes ou, quando usados no processo de planejamento, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados. Ferramentas de análise abrangente, como análise de dificuldades,

estatísticos e gráficos permitem que se avaliem diferentes cenários de fabricação. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção.

Usando o T9, é possível modelar e simular sistemas de produção e seus processos. Permite otimizar o fluxo de materiais, a utilização de recursos e a logística para todos os níveis de planejamento de fábrica a partir de instalações de produção, passando por fábricas locais, até linhas específicas.

Com o T9 é possível criar modelos bem estruturados hierárquicos de instalações de produção, linhas e processos. Isto graças à arquitetura orientada a objeto e poderosa capacidade de modelagem que permite criar e manter até sistemas altamente complexos, incluindo os mecanismos de controle avançado.

A interface de usuário do T9 segue os padrões da *Microsoft Windows*, tornando-o mais fácil e produtivo. Os modelos de simulação podem ser criados rapidamente, usando componentes de bibliotecas objeto de aplicativo dedicado aos processos de negócios específicos, como os processos de fabrica ou montagem.

#### **4.4.1 Características Especiais**

- A arquitetura aberta com múltiplas interfaces padrão;
- Biblioteca e gerenciamento de objetos;
- Otimização de algoritmo genético conduzido;
- Análise automática de resultados de simulação;
- Construtor de relatório com base HTML;
- Detectar e mostrar os problemas que possam causar custos e medidas de correção em tempo intensivo;
- Reduzir os custos de investimento para linhas de produção sem comprometer a quantidade de saída necessário;
- Aperfeiçoar o desempenho das linhas de produção existentes;
- Falhas da máquina Incorporar, disponibilidades, quando o cálculo de números de transferência e utilização;

- Programação orientada a objeto com:
  - Herança: Usuários criar bibliotecas com seus próprios objetos, que podem ser reutilizados. Ao contrário de uma cópia, qualquer alteração em uma classe de objeto dentro da biblioteca é propagada a qualquer um dos objetos derivados;
  - Polimorfismo: As aulas podem ser derivados e derivados métodos podem ser redefinidos. Isto permite aos utilizadores construir modelos complexo mais rápido, fácil e com uma estrutura mais clara;
  - Hierarquia: estruturas complexas podem ser criadas de forma muito clara em vários (lógica) camadas. Isso facilita um Top-down e bottom-up design Top abordagem.
- Abertura para importação de dados de outros sistemas, como o *Access* ou *Oracle* bases de dados, *Excel* planilhas ou *SAP*;
- Integração: T9 faz parte da fábrica Digital e suporta:
  - importação de dados de PLM sistemas
  - assumindo os dados do *layout* do *Autocad*, *Microstation*, *FactoryCAD*, etc diretamente na simulação.
- Compreensível fornece ferramentas de análise para a detecção de gargalos (*Bottleneck Analyzer*), para monitoramento do fluxo de materiais (diagramas de *Sankey*) ou para a detecção de recursos sobre-dimensionadas (Assistente de Gráfico);
- Oferece ferramentas integradas de otimização:
  - O Gestor Experiência automaticamente cria cenários avalia ou dependências entre dois parâmetros de entrada;
  - Algoritmos genéticos grandes espaços de busca de solução;
  - As redes neurais mostrar a conexão entre os parâmetros de entrada e saída e pode ser usado para a previsão.
- A análise dos dados: Detecção de dependências, análise de regressão e melhora função de montagem, etc.

#### 4.5 UTILIZADA DA FERRAMENTA NAS INDÚSTRIAS

- Indústria de automóvel;
- Fornecedores automotivos;
- Aerospace;
- Fábrica;
- Mecânica;
- Indústria de processos;
- Indústria eletrônica;
- Indústria de bens de consumo embalados;
- Aeroportos;
- As empresas de logística (logística de transporte, logística de armazenagem e logística de produção);
- Imóvel Consultoria e prestadores de serviços;
- Estaleiros Simulação de cooperação das indústrias marítimas; SimCoMar é um grupo de interesse dos estaleiros e fornecedores, universidades e instituições envolvidas na simulação de construção naval;
- Portos, terminais de contêiner especial.

Plant Simulation pode mostrar seqüências de produção em 2D e em 3D. A exibição em 3D é particularmente útil como uma ferramenta de vendas ou no caso de uma comunicação das ações previstas. Além disso, permite apresentar o conceito de sistema inteiro dentro de um virtual, interativa imersiva ambiente de simulação não-especialistas. O motor 3D é baseado no padrão da indústria formato JT CAD aplicações como NX, Solid Edge pode exportar modelos neste formato. Os arquivos de dados em 3D podem ser importados no formato JT.

Ultimamente ganhos simulação do fluxo de materiais cada vez mais importância com o uso crescente de considerar a sustentabilidade dos processos de produção industrial. Aqui as características de produção sustentável são simuladas e analisadas de antemão e, em seguida, integrada no processo de decisão de investimento.

O T9 também é utilizado para fins de pesquisa e desenvolvimento em um grande número de universidades e universidades de ciências aplicadas.

## 4.6 PLANEJAMENTO E PRODUTIVIDADE

O Tecnomatix, juntamente com as novas capacidades de hoje de lançamento, permite a engenharia colaborativa e melhora a produtividade na produção planejadora, apoiando as empresas no seu esforço de levar produtos ao mercado mais rápido.

Tecnomatix também utiliza o *software Teamcenter*, a *Siemens PLM Software* digitais carteira de gestão de ciclo de vida, como uma plataforma integrada para a fabricação de planejamento, do processo de criação através da simulação de documentação.

Melhorias na Tecnomatix 9.0 conceitos de apoio, como a reutilização de boas práticas padronização, bem como ferramentas para ajudar a gerenciar a complexidade, tais como gestão da mudança. Essas ferramentas ajudam a aumentar a produtividade e permitir os engenheiros fazer o planejamento de mais com menos.

Uma das principais características do Tecnomatix 9, é ajudar as empresas na produtividade da unidade é através de diversas novas funcionalidades que visam automatizar tarefas de planejamento do projeto. Por exemplo, uma nova função permite a rápida criação e exploração de montagem de produtos alternativos/desmontagem de seqüenciamento, a fim de otimizar o planejamento de tarefas e economizar tempo na criação de documentação de montagem.

Aprimoramento de tarefas automáticas de planejamento usa uma descrição maior nível de tarefa manipular o Jack componente do modelo humano de *Tecnomatix virtual* em 3D ambientes. Esta capacidade pode reduzir significativamente o tempo necessário para um estudo de simulação, permitindo a avaliação de vários cenários hipotéticos envolvendo a simulação de seres humanos em uma indústria ou a manutenção de um ambiente.

O T9 inclui vários aperfeiçoamentos adicionais que visam aumentar o planejamento de produtividade, melhorias na usabilidade e um novo ferramental de produção biblioteca. Além disso, *Tecnomatix* oferece maior integração com o *Teamcenter*, *Tecnomatix* permitindo perfeita fabricação colaboração de dados entre *Tecnomatix* aplicações e os *Teamcenter backbone PLM*.

O T9 traz em planejamento e produção de forma mais estreita, e ajuda comparar entre real e virtual. Com T9, uma nova solução para Dimensão Planejamento e validação (DPV) está sendo introduzido.

DPV permite capturar grandes quantidades de dados como construídas a partir de dispositivos de medição no chão de fábrica e gerenciá-las no Teamcenter as designers de produto, bem como engenheiros de produção pode pesquisar alavanca poderosa e análise de funções analisar e comparar a qualidade dos dados provenientes de várias fábricas e, assim, otimizar o produto e de processo.

#### **4.7 PRODUTIVIDADE DE FABRICAÇÃO**

Além de abordar o processo de planejamento, T9 também contém vários novos recursos e aprimoramentos centrada na produtividade de fabricação. Esses recursos e aprimoramentos reforçar o poder de Tecnomatix ajudando as empresas a otimizar virtualmente seus processos de fabricação o software possui ferramentas projetadas para maximizar a produtividade das linhas existentes e facilitar a criação de novas linhas.

Na área de simulação robótica, T9 oferece uma série de novos recursos incluindo uma função de planejamento automático novo caminho que significativamente reduz o esforço para a programação off-line de robôs. Além disso, o Tecnomatix virtual real PLC Tecnomatix capacidade virtual de comissionamento permite o teste do PLC real a programas de tratamento contra as linhas de produção virtual e pode levar a uma redução drástica do tempo de comissionamento sobre o chão de fábrica.

Além disso, padrão de componentes inteligentes reduz significativamente o tempo e esforço gasto em projetos de comissionamento virtual, eliminando o tempo desnecessário e criar manualmente as definições da lógica a partir do zero.

"Com a liberação de T9, a *Siemens PLM Software* continua a abordagem e produção digital de uma forma integrada e holística que é coerente com as necessidades de seus clientes. Virtual comissionamento representa um dos retornos imediatos da tecnologia de fabricação Tecnomatix digital e oferece uma proposta de valor concreto. Muitos fabricantes vão achar que o potencial benefício já disponível fornecer uma razão convincente para abraçar esta "tecnologia de hoje."

O T9 permite às empresas aumentar a produtividade na fabricação de várias outras áreas do ambiente de produção, tais como *layout* da fábrica e do espaço consumo, manual processos de *workflow* e de fluxo de material.

- Mais realistas modelos digitais humanas, aperfeiçoar os estudos de ergonomia e auxílio com a detecção precoce e correção de problemas potenciais.
- Uma análise do tempo de reforço e capacidade de gestão inclui a capacidade de analisar o valor adicionado versus tarefas sem valor agregado tarefas.
- Maior integração entre a solução *Teamcenter* e *FactoryCAD* em *Tecnomatix* melhora do projeto da fábrica de gerenciamento de dados e colaboração.
- Várias melhorias para a aplicação de simulação *Tecnomatix Plant* melhorar os usuários a capacidade para reduzir o estoque
- Detectar possíveis gargalos, otimizar fluxo de materiais, e rapidamente modelar até mesmo nos ambientes mais complexos.

"As aplicações de simulação virtual e comissionamento em *Tecnomatix* nos permiti identificar possíveis problemas em um ambiente digital antes que se tornem problemas graves no chão de fábrica", disse Jordan Merhib, diretor da "Tecnomatix Desenvolvimento de Negócios, Tecnologias Aplicadas nos permite ajudar nossos clientes a evitar vários problemas que levariam a perda dos prazos de entrega e perda de receita. Estamos confiantes de que seremos capazes de tirar partido de vários novos recursos no *Tecnomatix 9.0* e melhorar ainda mais para nossos clientes produtividade global de produção."

## **CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação da simulação computacional em uma linha de produção de aparelhos de TV 21”. O estudo segue as “etapas em um estudo de simulação” da metodologia proposta por Harrel *et al.* (2002), apresentada no capítulo III. Nas primeiras etapas do estudo, será apresentada a empresa onde o estudo é realizado, seguido das demais etapas até a apresentação dos resultados.

### **5.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E ESTABELECIMENTO DE OBJETIVOS**

O estudo é desenvolvido em uma das empresas do Pólo Industrial de Manaus (PIM), no setor de eletro eletrônico. A origem desta empresa data de 1970 com suas atividades no ramo de eletro eletrônico. Dentre os produtos fabricados pela empresa, podemos destacar TV, Celulares e Modems.

O foco deste trabalho está na área da engenharia de desenvolvimento de processos para montagem de aparelhos de TV 21”. O cliente, geralmente uma empresa, envia para a área comercial um pedido de orçamento para a realização de fabricação de um determinado produto.

A área comercial por sua vez faz uma solicitação de formação de preços (SFP) para engenharia de processo que retorna esta SFP após análise detalhada. Seguida às análises financeiras e considerações comerciais, é enviado para o cliente um orçamento, que aprovado, gera um pedido de compra. Com o pedido de compra em mãos, a área comercial emite uma liberação de desenvolvimento para a engenharia de desenvolvimento de produção, que então desenvolverá o produto solicitado.

Após aprovação, passa ser de responsabilidade da gerência da produção a fabricação e atendimento das demandas solicitadas pelo cliente através do planejamento e controle da produção. Nesta etapa que a engenharia de desenvolvimento começa a receber retornos, fazer avaliações e tomar ações corretivas. Não é raro o surgimento de problemas e reclamações quanto à capacidade de atendimento da demanda, esteja ela acima ou abaixo da capacidade

nominal (produção máxima do processo), o surgimento de gargalos, discrepâncias no arranjo físico, itens com alto estoque em processo, grandes variações nas movimentações de operadores, dificuldades no fluxo de informações e materiais, quantidade de mão de obra inadequada seja por excesso ou por falta.

É objetivo deste trabalho o uso da simulação durante todo o processo da linha de produção como uma técnica preditiva, onde respostas para questões do tipo “o que acontece se...?”, irão auxiliar em tomadas de decisões e na busca de melhorias contínuas e nas soluções de problemas.

A simulação foi aplicada quando a engenharia de desenvolvimento necessitava fazer dentre outras, as seguintes definições para tomada de decisão no processo; arranjos físicos; alocação e utilização de operadores; utilização de máquinas e equipamentos; capacidade de produção e balanceamento de linha. É normal que as técnicas de análises utilizadas neste momento sejam quase sempre definidas pela experiência dos profissionais envolvidos no desenvolvimento e que muitas vezes são baseadas no que eles consideram ser um projeto simples ou complexo, sendo comum que para qualquer que seja o grau de complexidade, as técnicas mais usadas, sejam: cálculos analíticos, históricos de ocorrência, tentativas e erros.

Neste projeto, foi usada a simulação com o objetivo de avaliar preventivamente o desempenho da linha de produção. É consenso entre as gerências da engenharia de desenvolvimento e engenharia de produção, que estas duas situações; são causas de divergências quanto ao desempenho que o sistema apresentara após sua implantação, e que a realização de modelos de simulação daquilo que se está idealizando poderá auxiliar nas tomadas de decisões.

### **5.3 COLETA DE DADOS**

Segundo Silva (2005), o dado principal para a elaboração de um modelo computacional é o tempo padrão de cada processo ou atividade. Tempos de *setup*, movimentação, inspeção e espera, são também importantes e devem ser cuidadosamente coletados.

A partir das instruções do plano de produção para fabricação de aparelhos de TV 21”, foi possível analisar todas as atividades exigidas e o tempo padrão de todos

os postos de trabalho, com base nas informações desenvolver uma simulação do modelo de layout existente na indústria em estudo. As informações dos postos de trabalho e dos tempos cronometrados estão listadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 - Plano de Produção**

Modelo **FP-21**                      TV                      30780  
**PRODUÇÃO**                      2000  
**TP CICLO**                      15,39

Posto	Descrição	Func	TP1	TP2	TP3	SOMA	QT	TM	TP	MODIA	MOD N	CAPAC1	EFIC.
P1	GIRAR PALETE	MT	10,51	10,2	13,6	34,3	3	11,4	12,58	0,82	1	2692,1	81,72%
P2	Pegar gabinete do saco e desembalar do saco de plástico e analisar	MT	10,51	10,5	10,5	31,53	3	10,5	11,56	0,75	1	2928,6	75,12%
P3	Desembalar calço e montagem dos calços de fibras 1.5mm	MT	11,64	11,1	10,1	32,86	3	11	11,50	0,75	1	2810,1	74,73%
P4	Pegar o logotipo, tirar o adesivo, montar no gabinete e aplicar a pistola	MT	12,15	12,2	13	37,3	3	12,4	13,06	0,85	1	2475,6	84,83%
P5	Montagem dos calços de fibras 1.5mm	MT	9,23	9,6	11,2	30,07	3	10	10,52	0,68	1	3070,8	68,39%
P6	Montar o alto falante e fixar 2 parafuso 3x10 (2x) -29	MT	30,25	32,6	40,1	102,9	3	34,3	37,74	2,45	3	2691,3	245,23%
P7	Montar o alto falante e fixar 2 parafuso 3x10 - 21	MT	23,85	24,5	23,5	71,84	3	23,9	26,34	1,71	2	2570,7	171,16%
P8-13	Apoio com a máquina CRT fixar parafuso 5x30 ou 4 porca -21 konka	MT	28,7	26	29,1	83,82	3	27,9	30,73	2,00	2	2203,3	199,70%
P14	Pegar cinescopio na linha de CRT e dispor na plataforma de apoio da máquina, com auxilio da talha -29	MT	12	12	12	36	3	12	13,20	0,86	2	5130	85,77%
P15	Montar a bobina desmag e cortar prendedor injet	MT	19,8	18,5	18,8	57,08	3	19	20,93	1,36	2	3235,5	135,99%
P16	Pegar o fio de terra e mola de aço colocar na esquerda e na orelha do cinescópio	MT	21,52	20,8	19,48	61,75	3	20,6	22,64	1,47	2	2990,8	147,12%
P17	Pegar cinescópio e revisar	MT	21,5	17,8	20,10	59,4	3	19,8	21,78	1,42	2	3109,1	141,52%
P18	Fixar 4 prendedores injets	MT	22	21	19,85	62,89	3	21	22,01	1,43	2	2936,6	143,02%
P19	Pegar PCI principal analisar com cinescópio/girar aparelho e quebrar as dobras	MT	14,47	13,6	14,56	42,68	3	14,2	14,94	0,97	1	2163,8	97,05%
P20	Conectar o cabo da bobina no PC e cabo de força/alinhar led e encaixar poi	MT	16	16	16	48	3	16	16,80	1,09	1	1923,8	109,16%
P21	Conectar o cabo DY no CR e alto falante	MT	11,23	11,2	11,65	34,11	3	11,4	11,94	0,78	1	2707,1	77,57%
P22	Montar braçadeira no gabinete, prender bobin e cabo de força e desenrolar a aliciação do flay-back	MT	10,22	13,6	11,00	34,86	3	11,6	12,20	0,79	1	2648,9	79,28%
P23	desenrolar os cabos da PCI CR e conectar 2 pontas de fio terra ( 1 ponta fio terra konka pos vs503-29-	MT	10,11	11,6	11,75	33,42	3	11,1	11,70	0,76	1	2763	76,00%
P24	Prender cabo DY com amarrador 160mm	MT	10,34	9,43	9,55	29,32	3	9,77	10,26	0,67	1	3149,4	66,68%
P25	Montar 2 prendedores injet no alto falante	MT	12,75	11,1	13,20	37,01	3	12,3	12,95	0,84	1	2495	84,17%
P26	Soldar fio preto na posição AQ1 e AQ2	MT	8,59	11	10,66	30,25	3	10,1	10,59	0,69	1	3052,6	68,79%
P27	Prender os fios SCREEN e FOCUS com amarrador 80mm e prender fiação/fiação alto	MT	13	12	11,20	36,2	3	12,1	12,67	0,82	1	2550,8	82,33%
P28	PRENDER COM AMARRADOR DE FIO 80mm O CABO GPI/21 konka e aiko	MT	10,91	11,2	11,85	33,98	3	11,3	11,89	0,77	1	2717,5	77,28%
P29	Prender cabo "GA" com amarrador de 80mm no furo esquerda do PCI CR	MT	14,3	15	13,88	43,18	3	14,4	15,11	0,98	1	2138,5	98,20%
P30	Encaixar garras do cabo AT, montar anel escapador e colar adesivo no cinescópio	MT	13,23	14	12,97	40,2	3	13,4	14,07	0,91	1	2297	91,42%
P31	TESTE DO TIMER	CL	10,92	12,6	11,25	34,73	3	11,6	12,16	0,79	1	2658,8	78,98%
P32	NIVEL DE PRETO E FOCO / ADICIONAR FUNDO BRANCO	CL	12,93	13,1	11,50	37,55	3	12,5	13,14	0,85	1	2459,1	85,40%
P33	Desmonte / scrap	MT									2		
P34	ANALISE DE TESTE	TP											

Obs.: Por está Tabela 5.1 ser muito grande não foi possível demonstra-lá por completa, mas, ela será impressa como Anexo 1.

#### 5.4 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DO *PLANT SIMULATION 9.0*

O Quadro 5.1 exibe as principais ferramentas (objetos), e suas funções usadas para criar a simulação da Linha de produção dos aparelhos de TV 21”.

**Quadro 5.1** – Lista das ferramentas usadas na simulação.

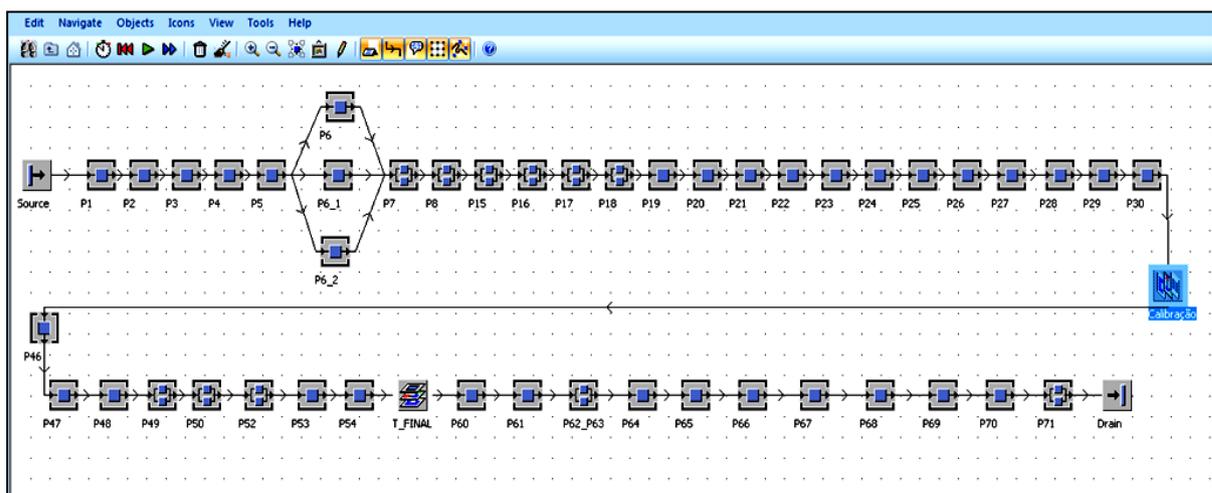
 EventController	<p>Utilizada para dar inicio a simulação e determinar o tempo estimado do processo.</p>
 Source1	<p>Este objeto cria as peças (no nosso caso, as TVs), que estará movendo-se através do sistema de produção (no caso a linha de ensaio).</p>
 Drain1	<p>Este objeto é onde as peças deixam o sistema (no caso final do processo).</p>
 SingleProc	<p>O SingleProc é um objeto genérico que pode ser usado para qualquer estação ou máquina, onde as peças passam um certo tempo (no caso os postos de trabalho).</p>
 ParallelProc	<p>Este objeto tem a função de executar mais de um processo de uma só vez</p>
 Frame	<p>Este objeto é usado para criar outra janela e simular parte de um processo separadamente sem afetar no processo como um todo.</p>
 Interface	<p>Esse objeto é usado para definir onde o fluxo de material entra / sai da armação.</p>
 Display1	<p>Este objeto serve como uma contador (no caso foi usado para mostrar a quantidade de produtos que foram produzidos).</p>
 Text	<p>Este objeto cria uma caixa de texto para criar comentários.</p>
 BottleneckAnalyzer	<p>Este objeto exibe as estatísticas normais dos objetos de fluxo material e classifica os dados em um ranking.</p>

## 5.5 SIMULAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO COM O PLANT SIMULATION 9.0

A Figura 5.1, mostra como foi criado (simulado) um *layout* parecido com os postos de trabalhos existentes na linha de produção dos aparelhos de TV 21” da fabrica em estudo; O tipo de *layout* existente é em Linha as máquinas são colocadas de acordo com a seqüência estabelecida sem caminhos alternativos. O material percorre um caminho previamente determinado dentro do processo (MARTINS e LAUGENI, 1998), nesta linha de produção existem 74 postos, ou seja, são necessários 74 funcionários treinados para executarem as tarefas impostas no processo de produção dos aparelhos de TV 21”.

Neste tipo de *layout* é necessário um supervisor geral, pois uma parada de máquina não prevista resulta em uma interrupção na linha ou estações de trabalho mais lentas limitam o trabalho da linha de produção e conseqüentemente acarretara perda na produção.

Cada posto tem um tempo especifico para executar uma determinada tarefa esse tempo chamamos de “tempo padrão”. A linha de produção em estudo tem o tempo de ciclo de um produto para outro de 15’s, ou seja, a cada 15’s é produzida uma TV, e sua produção diária é de dois mil (2.000) aparelhos por dia, trabalhando 8 h e 35min por dia. Com base nessas informações foi possível criar virtualmente (simular) a linha de produção da indústria em estudo. Essa simulação foi criada utilizando as funções e objetos disponíveis no software T9.



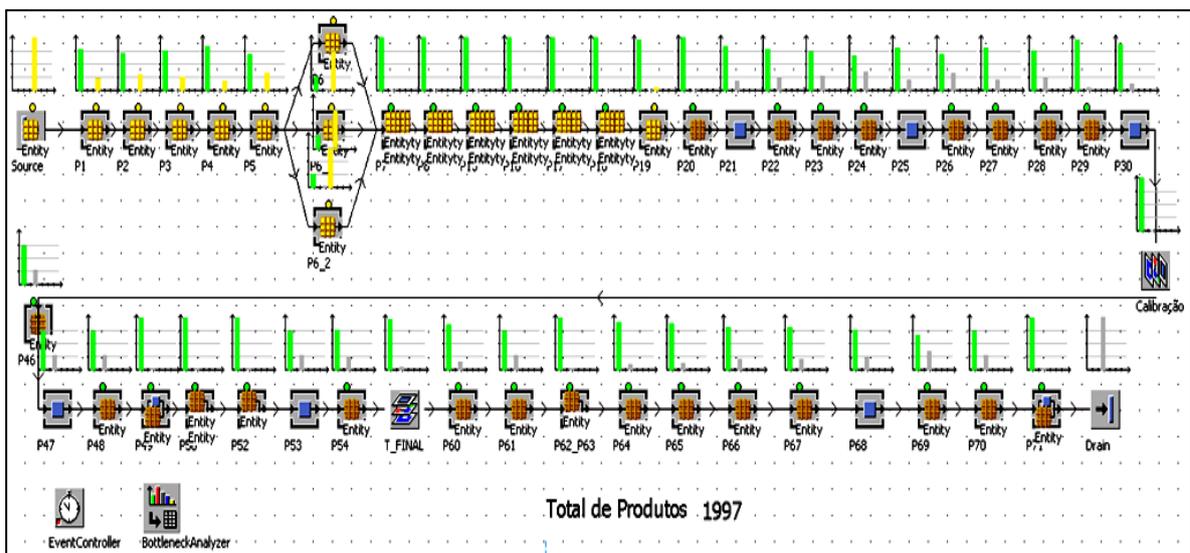
**Figura 5.1** – Layout da linha de Produção dos aparelhos de TV 21”.

A Figura 5.2 mostra a simulação da linha de produção. Apartir da simulação foi possível ter uma visão geral da linha de produção com todos os postos de trabalho.

Utilizando a ferramenta de análise denominada de **BOTTELENECK ANALYZER**, foi possível a identificação dos postos mais críticos.

Essa ferramenta é capaz de gerar gráficos de cada posto facilitando a análise individual dos mesmos; é capaz de gerar uma tabela com o nome de cada posto e mostrar o ranking de cada um e seus respectivos valores em %.

A análise com essa ferramenta nos possibilitou um ganho de tempo inestimável, identificando todos os postos e seus respectivos problemas durante o processo e os postos mais críticos causadores de perda na produção.



**Figura 5.2** – Simulação da linha de Produção dos aparelhos de TV 21''.

Conforme mostra o Quadro 5.2 pode-se visualizar o ranking dos dez (10) postos de trabalho que apresentam o melhor desempenho durante o processo da produção. São eles:

1. - P7 com o tempo de 23.9';
2. - P8 com 29.9';
3. - P15 com 29';
4. - P16 com 20.6';
5. - P17 com 19.8';
6. - P18 com 21';
7. - P20 com 15';
8. - P36 com 19.3';
9. - P37 com 19.3';
10. - P38 com 20.1'.

A capacidade produtiva (CP) está relacionada à dimensão tempo, ressalta-se ainda a importância em não confundir o termo capacidade com volume:

- Volume de produção: é a produção atual;
- Capacidade de produção: é a produção máxima.

A CP pode ser definida como o volume máximo potencial de atividade de agregação de valor que pode ser atingido por uma unidade produtiva sob condições normais de operação.

Logo, a capacidade define o potencial de execução de atividades produtivas em um ambiente fabril.

**Quadro 5.2** – Postos de trabalho com máximo desempenho

	object 1	real 2	real 3	real 4	real 5	real 6	real 7
string	resource	working	setup	waiting	blocked	disrupted	pause
1	root.P7	99.78	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00
2	root.P8	99.71	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00
3	root.P15	99.61	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00
4	root.P16	99.52	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00
5	root.P17	99.45	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00
6	root.P18	99.39	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00
7	root.P20	99.27	0.00	0.73	0.00	0.00	0.00
8	root.Calibração.P36	98.76	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00
9	root.Calibração.P37	98.70	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00
10	root.Calibração.P38	98.64	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00

O Quadro 5.3 mostra o ranking dos dez (10) postos que estão bem abaixo de seu desempenho, com isso temos a visão imediata de quais postos devem sofrer melhorias para termos ganho no processo.

A partir da análise feita com a ferramenta **BOTTELENECK ANALYZER** Que ilustra os tempos de trabalho e de espera de um operador ou máquina na forma de gráfico de barras ou ranking. Possibilitou a fácil visualização e interpretação de

aspectos importantes da linha de produção. Por exemplo, Identificamos que os postos:

1. - P46 com o tempo de 11.1’;
2. - P48 com 11.1’;
3. - P02 com 10.5’;
4. - P05 com 10’;
5. - P26 com 10.1’;
6. - P69 com 10.2’;
7. - P24 com 9.77’;
8. - P6\_1 com 11.44’;
9. - P6 com 11.43’;
10. - P6\_2 com 11.43’.

São os que apresentam a maior perda de produção isto é, postos com tempo de ociosidade excessivo. O Quadro 5.3 mostra que o posto com maior perda é o P6\_2 que apresentava 25.56% do tempo trabalhado e 2.69% em espera e 71.75% parado na linha.

**Quadro 5.3 – Postos de trabalho Desbalanceados.**

File Edit Format Navigate View Tools Help							
Sorted according to the sum of working time, failure time and pause time							
root.P7							
	object 1	real 2	real 3	real 4	real 5	real 6	real 7
string	resource	working	setup	waiting	blocked	disrupted	pause
53	root.P46	72.62	0.00	27.38	0.00	0.00	0.00
54	root.P48	72.56	0.00	27.44	0.00	0.00	0.00
55	root.P2	70.58	0.00	0.04	29.38	0.00	0.00
56	root.P5	67.12	0.00	0.90	31.98	0.00	0.00
57	root.P26	66.69	0.00	33.31	0.00	0.00	0.00
58	root.P69	66.13	0.00	33.87	0.00	0.00	0.00
59	root.P24	64.56	0.00	35.44	0.00	0.00	0.00
60	root.P6_1	25.58	0.00	2.70	71.72	0.00	0.00
61	root.P6	25.56	0.00	2.67	71.77	0.00	0.00
62	root.P6_2	25.56	0.00	2.69	71.75	0.00	0.00

## 5.6 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A simulação foi executada em um modelo de *Layout* em linha onde as máquinas ou estações de trabalho são colocadas de acordo com a seqüência das operações e foi executada de acordo com a seqüência estabelecida pelo plano de produção, nesta linha de produção existem 74 postos de trabalho onde três (3) deles são embaladores.

O tempo de trabalho foi de 8h e 35min, nesse tempo foi produzido um total de 2001 aparelhos de TV 21" dia e por hora são produzidos 240 aparelhos de TV 21"; durante todo o processo foi identificado uma perda critica de quatro (4) aparelhos que não completaram o ciclo de 15's. O tempo trabalhado foi estimando em 76.26% e o tempo de espera foi de 23.74% como mostra a Quadro 5.4.

**Quadro 5.4** – Resultado final da simulação dos aparelhos de TV 21"

The screenshot shows a software window with a menu bar (Navigate, View, Tools, Help) and several input fields. The 'Name' field contains 'Saída'. There are checkboxes for 'Failed' (unchecked) and 'Entrance locked' (checked). A 'Label' field is empty. A dropdown menu is set to 'Planned'. Below these are tabs for 'Times', 'Set-Up', 'Failures', 'Controls', 'Statistics', 'Type Statistics', and 'User-defined Attributes'. The 'Statistics' tab is selected, and within it, 'Type Statistics' is also selected. A checkbox for 'Type dependent statistics' is checked. A button labeled 'Detailed Statistics Table' is present. Below this button is a table with two columns of statistics.

Working:	76.26%	Average lifespan:	19:30.5774
Delayed:	23.74%	Average exit interval:	15.0000
Setup:	0.00%	Total throughput:	2001
Failed:	0.00%	Throughput per hour:	240.00
Paused:	0.00%	Throughput per day:	0.00

At the bottom of the window are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

O *Layout* em Linha é indicado para produção com pouca ou nenhuma variação, em quantidade constante ao longo do tempo e em grande quantidade.

Segundo Moreira (2001) pode ser citado três motivos que tornam importantes as decisões sobre arranjo físico:

Elas afetam a capacidade da instalação e a produtividade das operações;

Uma mudança adequada no arranjo físico pode muitas vezes aumentar a produção que se processa dentro da instalação, usando os mesmos recursos que antes, exatamente pela racionalização no fluxo de pessoas e/ou materiais;

Mudanças no arranjo físico podem implicar no dispêndio de consideráveis somas de dinheiro, dependendo da área afetada e das alterações físicas necessárias nas instalações, entre outros fatores.

## 5.7 SOLUÇÕES APLICADAS

Com os resultados obtidos pela simulação exibida logo acima, foi possível a análise dos resultados e visualização dos processos críticos, oferecendo suporte empírico no sentido de demonstrar os benefícios decorrentes da adoção de ferramentas computacionais em ambientes de produção.

Foi feita melhorias no layout e ajustes em alguns postos que apresentavam falhas no processo. A razão de falhas (RF) é um conceito interligado ao de confiabilidade (C) por mensurar de forma inversa esta variável.

A confiabilidade (C) é conceituada como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, *software*, pessoa) dê como resposta aquilo que dele se espera”.

A razão de falha (RF) é conceituada como “a probabilidade de que um sistema (equipamento, componente, peça, *software*, pessoa) não dê como resposta aquilo que dele se espera”.

Onde se consolida a relação lógica de:

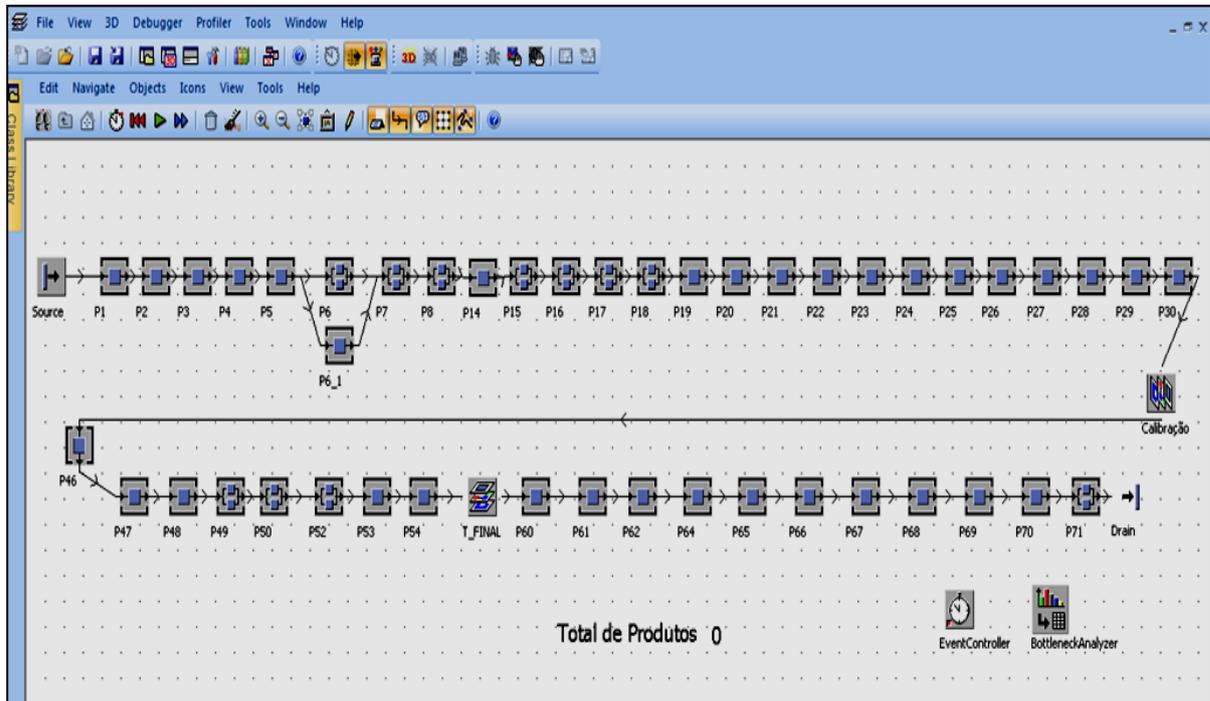
$$(C)_t + (RF)_t = 1$$

$(C)_t$  = confiabilidade do sistema no intervalo de tempo  $t$

$(RF)_t$  = razão de falha do sistema no mesmo intervalo  $t$

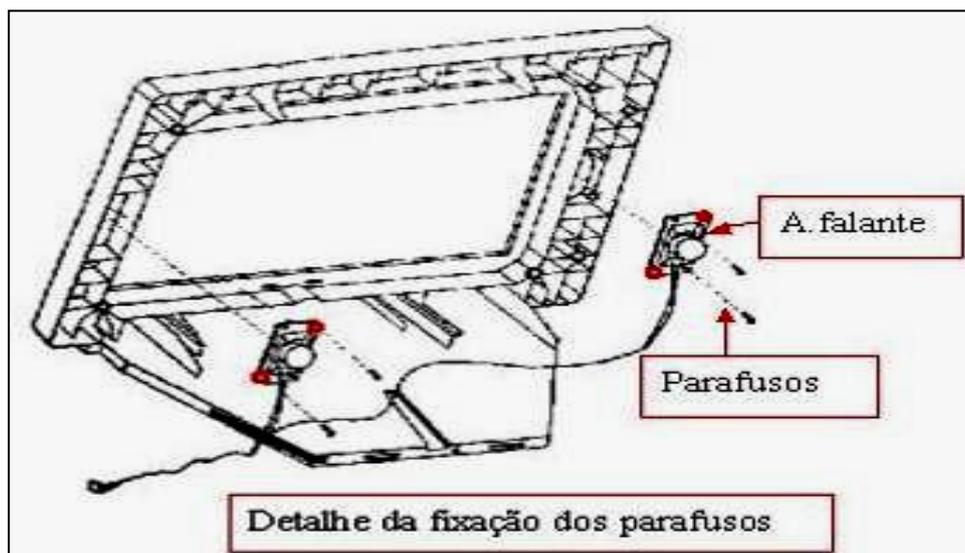
A relevância da RF no processo produtivo é muito alta, pois seu efeito é mensurado diretamente no índice da produtividade.

Conforme a Figura 5.3 é possível visualizar a simulação do novo *layout* e suas novas modificações.



**Figura 5.3** – Layout proposto para nova Simulação da Linha de Produção

A Figura 5.4 mostra a imagem de como deveria ser executado o processo do posto seis, onde deveria ser pego o gabinete frontal e adicionar dois alto-falantes.



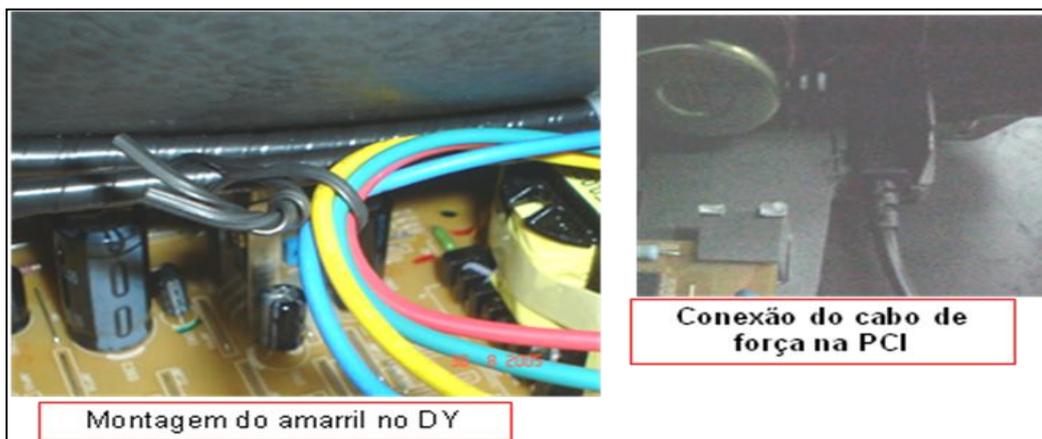
**Figura 5.4** – Fixação de Alto-Falantes no Gabinete Frontal da TV

**Fonte** : Manual de Instruções de Trabalho da Empresa em Estudo

O posto seis (6) que chamamos na simulação de P6, conforme instrução de trabalho exigia que se usassem três (3) pessoas, foi alterado para duas (2) pessoas executando as seguintes tarefas:

- Pegar gabinete frontal do palete e dispor no dispositivo de apoio;
- Montar um conjunto de alto falante no gabinete, com os terminais voltados para parte inferior do gabinete;
- Fixar alto falante com (02) parafusos esp tap 3,0x10 em cada alto falante;
- Torque 0,7 +/- 0,10 nm;
- Retirar gabinete do dispositivo e dispor no palete;
- Acionar stop liberando palete para o posto seguinte.

A Figura 5.5 mostra a imagem da execução do processo no posto vinte e quatro (24), onde deveria ser preso o cabo DY e fixação do cabo de força no gabinete.



**Figura 5.5** - prender o cabo DY e fixação do cabo de força no gabinete.

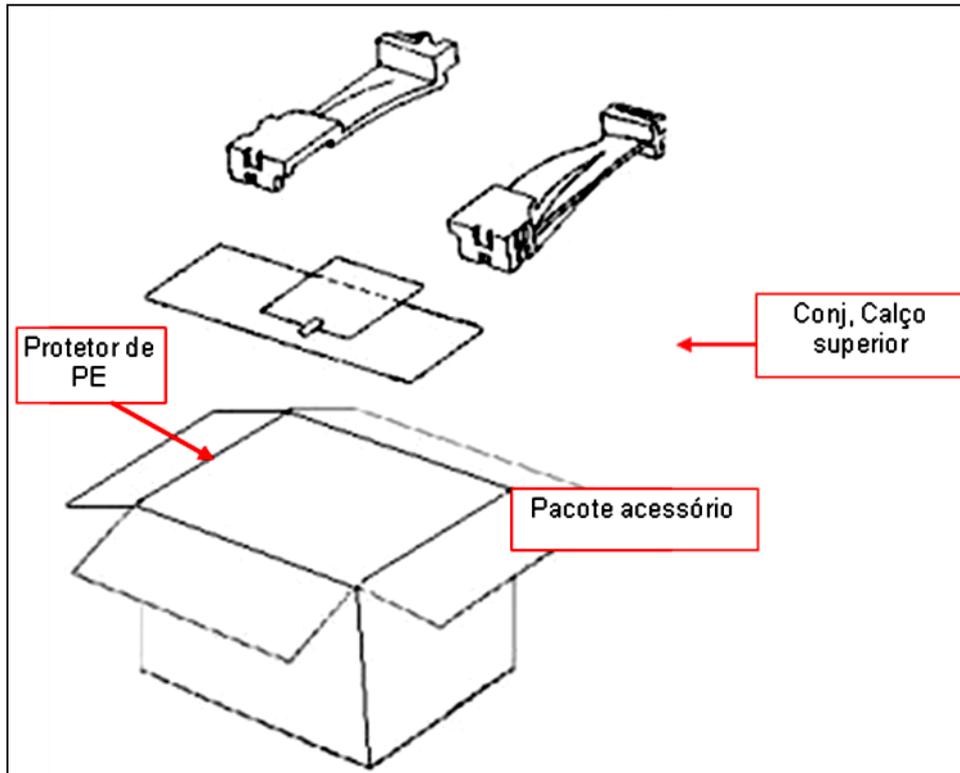
**Fonte:** Manual de Instruções de Trabalho da Empresa em Estudo

No posto vinte e quatro (24) conforme instrução de trabalho exigia uma (01) pessoa com o tempo de 9.77's foi feito um balanceamento no posto e alterado para 14's executando as seguintes tarefas:

- Encaixar cabo de força no rasgo existente no gabinete;
- Prender cabo "DY" com amarrador de 160 mm na bobina;

- Prender fiação do alto falante pelas nervuras existentes no gabinete.

A Figura 5.6 mostra a imagem da execução do processo no posto sessenta e nove (69), onde deveria montar protetor de pé no aparelho, arrumar o saco de polietileno.



**Figura 5.6** - Montar protetor de pé no aparelho, arrumar o saco de polietileno.

**Fonte:** Manual de Instruções de Trabalho da Empresa em Estudo

No posto sessenta e nove (69) conforme instrução de trabalho exigia uma (01) pessoa com o tempo de 10.2's foi feito um balanceamento no posto e alterado para 14's executando as seguintes tarefas:

- Montar protetor de pé exp no aparelho, arrumar o saco de polietileno;
- Desmembrar e montar conjunto de calço superior sobre o aparelho;
- Arrumar abas superiores da caixa e passar a mesma na máquina 3m com fita adesiva;
- Obs.: revisar o conjunto de acessório deve conter: manual, 2 pilhas e controle remoto;
- Fazer a troca do rolo de fita adesiva, quando necessário.

A Figura 5.7 mostra a imagem da execução do processo no posto dois (02), onde deveria pegar o gabinete do palete verificar quanto a: riscos, manchas, falhas de serigrafia, abertura, empenamento ou outras anomalias que possam trazer problema na montagem do aparelho. Caso o gabinete apresente não conformidade identificar a não conformidade e enviado ao posto técnico para reparos.



**Figura 5.7** - Aparelho de TV 21”

**Fonte:** Manual de Instruções de Trabalho da Empresa em Estudo

No posto dois (02) conforme instrução de trabalho exigia uma (01) pessoa para executar a tarefa em um tempo de 17.90's após a simulação foi possível fazer um balanceamento no posto e reajustar o tempo da operação para 14's executando as seguintes tarefas:

- Verificar o gabinete quanto a riscos, manchas, falhas de serigrafia, empenamento ou outras anomalias;
- Retirar proteção plástica dos terminais do canhão e dispor no cesto;
- Caso o gabinete apresentar não conformidade, identificar a não conformidade e enviar ao posto técnico para reparos.

No posto de trabalho cinco (05) conforme a instrução de trabalho exigia uma (01) pessoa para executar a tarefa em um tempo de 16.8's. Após a nova simulação foi possível fazer um balanceamento no posto e reajustar o tempo da operação para 14's executando as seguintes tarefas:

- Pegar gabinete frontal no palete;
- Montar dois calços de fibra de 1,5mm nos castelos de fixação do cinescópio no gabinete na parte inferior.

Nos demais postos P26, P48 e P46 conforme as orientações de trabalho de cada posto foi feito uma nova simulação e conforme resultados obtidos pela simulação houve um novo balanceamento coerente com suas atividades e garantir melhorias em outros processos da linha de produção.

Conforme mostra a Figura 5.8 houve um ganho de produção que passou de 2.001 aparelhos dia para 2.142 aparelhos dia, isso graças às melhorias obtidas pela visualização através da simulação computacional que tornou possível fazer ajuste exatamente nos postos de trabalho que apresentavam problemas críticos e nesses postos serem aplicadas as devidas correções.

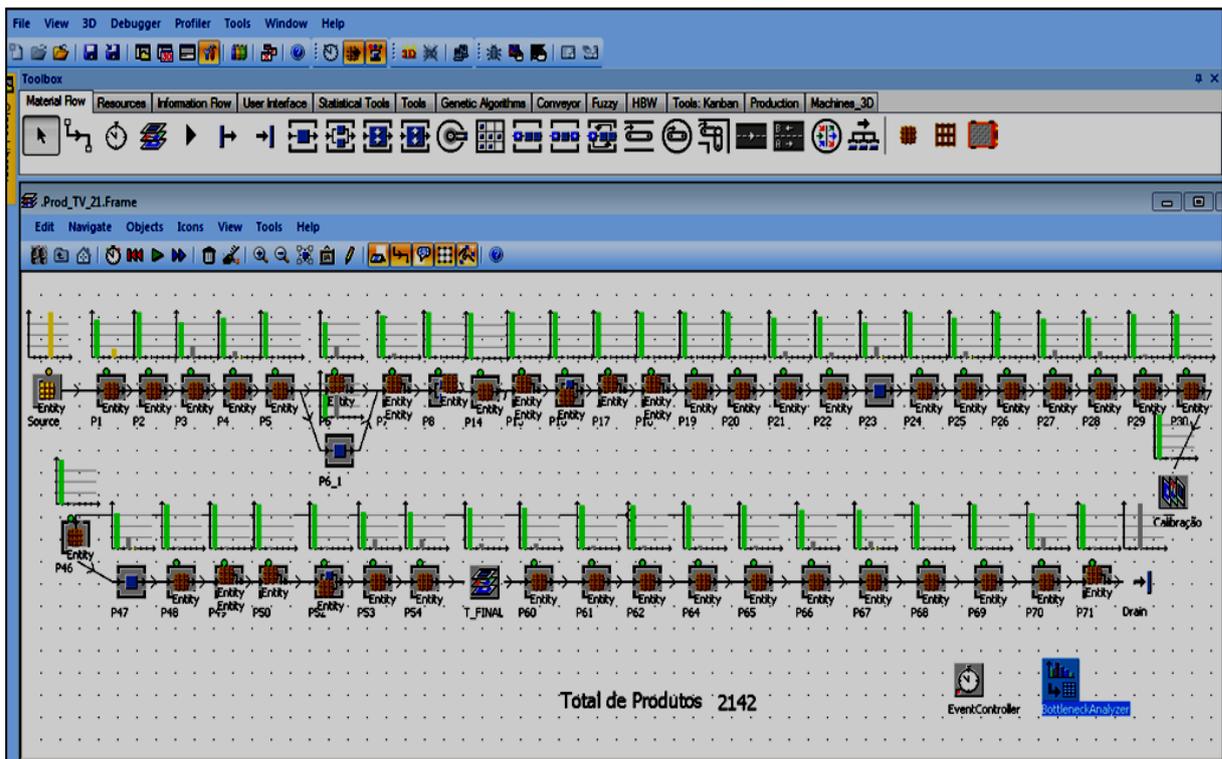


Figura 5.8 – Simulação do Novo *Layout* da Linha de Produção dos Aparelhos de TV 21”.

## 5.8 RESULTADO DAS MELHORIAS APLICADAS

Conforme mostra o Quadro 5.5, os resultados estatísticos obtidos são exibidos de acordo com a seqüência das operações e foi executada de acordo com a seqüência estabelecida pelo plano de produção. O tempo de trabalho foi de 8h e 35min nesse tempo foi produzido um total de 2.142 aparelhos de TV 21” e por hora é produzida 257.14 aparelhos de TV 21”.

O intervalo médio de saída é de 14’s, ou seja, a cada 14’s é produzido um aparelho de TV 21”. Conforme mostra a Quadro 5.4 o tempo de trabalhado estimando é de 97.80% e o tempo de espera foi de 2.20%, ou seja, tempo que a linha passou parada sem produzir.

Com a nova mudança no processo produtivo foi possível obter um ganho de 6.6% na produção dia, referente à simulação anterior. Reduzindo os dias da produção em relação à meta mensal que era de 44.000 mês. Apesar de termos ganho na produção e otimizado alguns processos, ainda temos muito que melhorar nessa linha, mas, deixaremos essas melhorias para nossas próximas simulações.

**Quadro 5.5** – Resultados obtidos da nova simulação da linha de TV 21”.

The screenshot shows a software window with a menu bar (Navigate, View, Tools, Help) and several input fields. The 'Name' field contains 'Drain', and the 'Label' field is empty. There are checkboxes for 'Failed' (unchecked), 'Entrance locked' (checked), and 'Planned' (checked). Below these are tabs for 'Times', 'Set-Up', 'Failures', 'Controls', 'Statistics', 'Type Statistics' (selected), and 'User-defined Attributes'. The 'Type Statistics' tab contains a 'Detailed Statistics Table' with the following data:

Working:	97.80%	Average lifespan:	15:35.3910
Delayed:	2.20%	Average exit interval:	14.0000
Setup:	0.00%	Total throughput:	2142
Failed:	0.00%	Throughput per hour:	257.14
Paused:	0.00%	Throughput per day:	0.00

At the bottom of the window are buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

### 6.1 CONCLUSÃO

O objetivo desta pesquisa foi o uso da simulação para realizar uma avaliação preventiva do desempenho de uma linha de produção de aparelhos de TV 21”. Antes de fazermos a aplicação da simulação era dúvida entre os responsáveis pela implementação como seria o comportamento e desempenho durante a operação.

A simulação computacional mostrou ser uma ferramenta de extrema importância e eficaz para a obtenção de resultados onde ainda não é possível obter dados reais. Ressaltamos que o recurso de animação apresentado pelo *software* foi decisivo durante a elaboração, verificação, validação e execução dos modelos. Através dele todos os colaboradores envolvidos poderão ter uma melhor compreensão de como funcionava todo o processo, assim, sugestões de melhoria e mudanças foram ocorrendo e sendo testados rapidamente na simulação do processo.

O uso da animação apresentado pelo *software* facilitou a comunicação entre a supervisão e a mão de obra direta. Tornou claro e objetivo como se deseja executar uma tarefa e qual o desempenho esperado, buscando o comprometimento e a participação dos colaboradores. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção, permite que os engenheiros façam diversas simulações sem sair de sua sala.

A presente pesquisa buscou aplicar de forma sistematizada as técnicas de simulação em um sistema de linha de produção de aparelhos de TV 21” existente. A aplicação do estudo da simulação não se limitou ao uso dos recursos disponíveis no *software* de simulação, mas depende totalmente do conhecimento da equipe de responsáveis pelo sistema que está sendo simulado (usuários dos resultados obtidos) e pelo responsável pela realização do modelo (modelador), mesmo que este último seja também parte da equipe e profundo conhecedor do sistema.

Por não ser uma tarefa simples, a aplicação da simulação exige disciplina e organização, ressaltando a importante contribuição do “mapeamento do processo” como uma ferramenta de atividades, documentação e registro.

Outro fato relevante é o de se ter obtido resultados significativos com a aplicação da simulação obtivemos um ganho de 6,6% na produção dia referente à produção original, ou seja, antes de realizar a simulação.

Com esse ganho foi possível reduzir os dias da produção que era de 22 para 20 dias em relação à meta mensal que era de 44.000 mês, ficando a critério da engenharia de produção usar os dois dias para produção de outros pedidos. A simulação possibilitou correções de diretrizes, melhor visualização de problemas futuros e tomada de decisões que poderiam levar muito tempo para ser detectados.

Como vantagem do uso da simulação destacou:

- 1 – Facilidade de visualização do sistema através dos recursos de animação;
- 2 – facilidade para a realização de mudanças de condições da operação do sistema;
- 3 – ajuda a visualizar o funcionamento do sistema, facilitando o treinamento e entendimento dos colaboradores; e
- 4 – a estimativa de desempenho de sistemas ainda não implantados.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros seguindo a mesma linha de pesquisa propõem-se:

- Realizar um trabalho com enfoque do uso da simulação, como ferramenta para motivação comportamental na realização de tarefas;
- Realizar um trabalho de simulação em um projeto de sistemas produtivo em fase de orçamento para clientes;
- Realizar uma nova simulação do sistema de manufatura, avaliando investimentos e ganhos com a construção de novos *layouts*;
- Usar a lógica *fuzzy* junto com a simulação para tomada de decisões.

## REFERÊNCIAS

- ARONS, H. S.; BOER, C. A. **Storage and retrieval of discrete-event simulation models**. Faculty of Economics, Erasmus University, Rotterdam, Netherlands. *Simulation Practice and Theory*, n.8, pp. 555-576. 2001.
- BARNES, R. M. **Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida de Trabalho**. Tradução da sexta edição americana. Editora Edgard Blucher Ltda, 1986.
- BOGHI C. e SHITSUKA R., **Aplicações Práticas com Microsoft Office Excel 2003 e Solver: Ferramentas Computacionais para Tomada de Decisão**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2005.
- BRESSAN, G. **Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais**. LARC, PCS/EPUSP 2002.
- CHANG, Y; MAKATSORIS, H. **Supply Chain Modeling Using Simulation**. University of Cambridge: Institute for Manufacturing, 2001.
- DAVIS, MARK M.; AQUILANO, NICHOLAS J. & CHASE, RICHARD B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3 ed. Editora Bookman, Porto Alegre, 2001.
- DEWHURST, Frank W.; BARBER Kevin D.; PRITCHARD Matthew C. ***In search of a general enterprise model***". *Management Decision*, Vol. 40/5, 2002. pp. 418-427.
- DISNEY S. M.; NAIM M. M.; TOWILL D. R. **Dynamic simulation modeling for lean logistics**. Systems Dynamics Group, University of Wales, Cardiff, UK, *International Journal of Physical, Distribution & Logistics Management*, Vol. 27 No. 3/4, 1997. pp. 174-196. © MCB University Press, 0960-0035
- DUARTE, R. N. **Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em Especialização em Produtividade e Qualidade** – UNIFEI, 2003.

FILHO, Paulo José de Freitas. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas**. Visual Books, 2001.

FREITAS, P.F. **Introdução a Modelagem e Simulação de Sistemas – Com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. Editora Pioneira, São Paulo, 2005.

GONÇALVES, J. E. L. **As empresas são grandes coleções de processos**. 6 RAE - Revista de Administração de Empresas, São Paulo, Jan./Mar. 2000.

HARREL, C. R.; MOTT, J. R. A.; BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOOG, T. J. **Simulação: Otimizando os Sistemas**. Belge Engenharia e Sistemas Ltda, IMAM, 2 ed. São Paulo, SP, 2002.

<http://administracao.forumais.com/conceitos-f4/administracao-da-producao-t14.htm>

<http://www.administradores.com.br/informe-se/artigos/administracao-da-producao/25634/> Acessado 22/10/10 as 19:00

JOHNSON A. L. & MONTGOMERY C. D., **Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control**. Georgia Institute of Technology, 1974.

KALLENBERG, R. **Managing transition from products to services**. International Journal of Service Industry Management, v. 14, n. 2, p. 160-72, 2003.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo:Prentice Hill, 2004.

KURATOMI, S. **Cronoanálise base da Racionalização da produtividade da redução de custos**. Mogi das Cruzes, O&M, 1987.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. Rio Janeiro: Campus, 2002.

LEAL, F. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento de processo e simulação computacional**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

LEONE, G. S. G. **Custos: Um enfoque administrativo**. 14ª edição. Rio de Janeiro: FGV, 2001.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 2009.

MARTINS, PETRÔNIO G. & LAUGENI, FERNANDO P. **Administração da Produção**. 2 ed. Editora Saraiva, São Paulo, 2005.

MOORE H. J. & WEATHERFORD R. L. **Tomada de Decisão em administração com Planilhas Eletrônicas**. 6. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MOREIRA, D. A. (2001), **Administração da Produção e Operações**, Thomson Learning, pag.254-273.

OLIVEIRA, F. A. de. **A gestão baseada em atividade (ABM) aplicada em ambientes celulares : uma abordagem metodológica**. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2003.

PALOMINO, R. C. **Um modelo para o planejamento e a programação da produção em ambientes job shop baseado em Redes de Petri**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2001.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. São Paulo: Artes médicas Sul Ltda. 1998.

PINHO, A. F.; LEAL, F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S.; MAPA, S. M. S.; RIBEIRO, M. J. C. **Aumento de Produtividade em uma Linha de Montagem de Chassis Automotivos Através da Simulação Computacional**. Artigo ENEGEP - Encontro Nac. de Eng. de Produção - (2006).

PLANT SIMULATION. **Visão Geral do Produto**. Disponível em: <[http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/tecnomatix/plant\\_design/plant\\_simulation.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml)>. Acessado 22/10/10 as 19:00

PORTER, M. E., **Estratégia Competitiva: técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência**. 1ª edição. Campus: Rio de Janeiro, 1986.

PRADO, D. **Usando o arena em Simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PROTH, Jean-Marie. **Concepção dos sistemas de produção**. Portugal: Editora Rés, 1990.

QUINN, J.B.; DOORLEY; PAQUETTE. **Além de produtos: Estratégia baseada em serviços**. Campus: Rio de Janeiro, 1998.

ROCHA, D.R. **Balanceamento de linha – Um enfoque simplificado**: material preparado por Duílio Reis da Rocha em 14/04/05. Disponível em <http://www.fa7.edu.br/rea7/artigos/volume2/artigos/read3.doc>. Acesso em 23/09/05.

ROSA, E. B. **Racionalização da produção**. Apostila do curso de Pós-Graduação Especialização em Produtividade e Qualidade – UNIFEI, 2002.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6 ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SCHOLZ, W. Roland. ***Embedded Case Study Methods – Integrating Quantitative and Qualitative Knowledge***. Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA. 2002.

SILVA, W. A. da. ***Otimização de parâmetros da Gestão Baseada em Atividades (ABM) aplicada em uma célula de manufatura***. Dissertação (Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, 2005.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart e JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart e JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOUSA, J. S. S. **Tipos de Produção & Automação. Automação Industrial**, 2003.

SOUZA A. C. de. **Sistemas de manufatura**. São José dos Campos, São Paulo, 2002.

STERMAN. John. D. “***Business Dynamics – Systems Thinking and Modeling for a Complex World***”. McGraw-Hill. 2001.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Sistemas de produção: a produtividade no chão de fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

VASCONCELLOS. Maria José Esteves de. **Pensamento Sistêmico: o novo paradigma da ciência**. Puc Minas. 2003.

YIN, R.K., **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 2<sup>o</sup> Ed. Porto Alegre:Bookman, 2001.

ZANCUL, E. de S.; MARX , R.; METZKER, A. **Organização do trabalho no processo de desenvolvimento de produtos: A aplicação da engenharia simultânea em duas montadoras de veículos**. Departamento de engenharia de produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 2005.